

江苏省制造业智改数转网联 电化学储能行业实施指南

江苏省工业和信息化厅
二〇二五年

目录

| | |
|----------------------|----|
| 一、 背景与现状 | 1 |
| 1.1 指南范围 | 1 |
| 1.2 电化学储能行业概述 | 3 |
| (1) 全国行业现状 | 3 |
| (2) 我省行业发展现状 | 4 |
| 1.3 行业智改数转网联现状 | 6 |
| 二、 目标与架构 | 9 |
| 2.1 总体目标 | 9 |
| 2.2 实施架构 | 9 |
| (1) 基础共性 | 10 |
| (2) 赋能技术 | 12 |
| (3) 智能设备 | 14 |
| (4) 过程控制与状态监测 | 14 |
| (5) 数据湖与数据分析 | 15 |
| (6) 数字化全生命周期管理 | 16 |
| (7) 数字应用 | 19 |
| 三、 基础能力 | 19 |
| 3.1 网络基础设施能力建设 | 19 |
| (1) 工业以太网 | 20 |

| | |
|------------------------|----|
| (2) 工业 5G 专网 | 21 |
| (3) 工业物联网 | 23 |
| (4) 工业 PON | 24 |
| (5) 标识解析体系 | 26 |
| 3.2 数据采集与应用能力建设 | 27 |
| (1) “哑设备”改造 | 28 |
| (2) 智能设备联网 | 29 |
| (3) 边缘服务器部署 | 31 |
| (4) 数据汇集与应用 | 32 |
| (5) 数据处理能力建设 | 33 |
| 3.3 信息系统能力建设 | 34 |
| (1) 信息化生产管理系统 | 34 |
| (2) 生产类系统打通 | 35 |
| (3) 管理类系统打通 | 35 |
| (4) 跨企业和跨环节的系统打通 | 35 |
| 3.4 信息安全能力建设 | 37 |
| (1) 设备安全工具及部署 | 37 |
| (2) 控制安全工具及部署 | 38 |
| (3) 网络安全工具及部署 | 38 |
| (4) 平台安全工具及部署 | 40 |
| (5) 应用安全工具及部署 | 40 |

| | |
|---------------------------|-----|
| (6) 数据安全工具及部署 | 41 |
| 四、 环节与场景 | 42 |
| 4.1 生产管理 | 44 |
| 4.1.1 电池生产计划优化 | 44 |
| 4.1.2 PACK 车间智能排产 | 49 |
| 4.1.3 电池原料资源动态配置 | 53 |
| 4.1.4 电池原料智能仓储 | 58 |
| 4.1.5 电池物料精准配送 | 64 |
| 4.1.6 电池制造安全风险监测 | 69 |
| 4.1.7 电池制造安全风险处置 | 72 |
| 4.1.8 焊接环节危险作业自动化 | 76 |
| 4.1.9 老化设备维护管理 | 78 |
| 4.1.10 储能系统信息安全建设 | 80 |
| 4.1.11 废气废水污染监测与管控 | 82 |
| 4.1.12 储能碳资产管理 | 84 |
| 4.1.13 生产基地废弃物管理 | 86 |
| 4.1.14 储能关键产线能耗数据监测 | 88 |
| 4.1.15 储能一体化能效平衡与优化 | 90 |
| 4.2 生产作业 | 93 |
| 4.2.1 产线柔性配置 | 93 |
| 4.2.2 精益电池生产管理 | 103 |

| | | |
|--------|---------------------|-----|
| 4.2.3 | 工艺动态优化 | 107 |
| 4.2.4 | 电池生产先进过程控制 | 111 |
| 4.2.5 | 智能协同作业 | 114 |
| 4.2.6 | 人机协同制造 | 117 |
| 4.2.7 | 在线智能监测 | 120 |
| 4.2.8 | 设备故障诊断与预测 | 129 |
| 4.2.9 | 电池生产设备运行优化 | 132 |
| 4.2.10 | 电池质量智能在线检测 | 133 |
| 4.2.11 | 电池质量精准追溯 | 136 |
| 4.2.12 | 储能产品质量优化 | 138 |
| 4.3 | 工厂建设 | 140 |
| 4.3.1 | 储能核心工艺环节数字化设计 | 140 |
| 4.3.2 | 储能电站数据湖治理与流通 | 147 |
| 4.3.3 | 工业数字基础设施集成 | 149 |
| 4.4 | 产品研发 | 156 |
| 4.4.1 | 储能核心子系统数字化研发 | 156 |
| 4.4.2 | 电池研发虚拟试验与调试 | 160 |
| 4.4.3 | 数据驱动电池产品设计优化 | 162 |
| 4.5 | 工艺设计 | 166 |
| 4.5.1 | 工艺数字化设计 | 166 |
| 4.6 | 运营管理 | 170 |

| | |
|---------------------------|-----|
| 4.6.1 储能产品销售业务优化 | 170 |
| 4.7 产品服务 | 172 |
| 4.7.1 电池售后主动客户服务 | 172 |
| 4.7.2 储能设备远程运维 | 174 |
| 4.8 供应链管理 | 176 |
| 4.8.1 电池上下游供应链计划协同 | 176 |
| 4.8.2 电池供应链采购动态优化 | 177 |
| 4.8.3 储能产品智能交付 | 179 |
| 4.8.4 电池主材供应商数字化管理 | 180 |
| 4.8.5 储能电池回收协同 | 182 |
| 五、 路径方法 | 184 |
| 5.1 实施路径 | 184 |
| 5.2 相关政策 | 190 |
| 5.3 政府补助 | 192 |
| 六、 愿景与展望 | 196 |
| 附件 1 | 199 |
| 人工智能典型应用场景 | 199 |
| 附件 2 | 215 |
| 投入改造清单及图谱 | 215 |
| 1、电化学储能行业系统化场景图谱示意图 | 215 |
| 2、行业智能化改造装备清单 | 228 |

| | |
|-----------------------|-----|
| 3、数字化转型数据要素清单 | 233 |
| 4、知识模型资源清单 | 238 |
| 5、工具软件清单 | 244 |
| 6、网络化联接设备清单 | 249 |
| 7、行业数字化转型人才技能清单 | 253 |
| 附件 3 | 257 |
| 典型案例 | 257 |
| 附件 4 | 292 |
| 技术缩略语 | 292 |
| 附件 5 | 295 |
| 服务商目录 | 295 |

一、背景与现状

1.1 指南范围

电化学储能行业具有技术路线多元、应用场景广泛、安全性能要求高、跨学科融合紧密等特点，是实现能源结构转型和构建新型电力系统的关键支撑产业，是推动新能源消纳与电力系统灵活调节的重要手段，也是引领储能技术迭代与能源数字化协同发展的前沿产业，代表着能源高质量发展和绿色低碳转型的核心方向。根据国家统计局制定的《工业战略性新兴产业分类目录（2023）》，我国战略性新兴产业包括新一代信息技术、高端装备制造、新材料、生物、新能源汽车、新能源、节能环保、航空航天、海洋装备九大产业。电化学储能作为新能源产业的重要组成部分，不仅与传统电源和电网运行体系在技术路径和运行逻辑上存在深度交叉，更通过对材料科学、电力电子、智能控制等领域的融合创新，在很大程度上重塑了能源产业链的技术生态，成为兼具智能化、绿色化、高安全性和高集成度特征的战略性新兴产业。

电化学储能行业产业链主要包括上游原材料供应商、中游储能系统集成商以及下游项目运营方。如图 1 所示，上游原材料供应商主要提供储能电池所需的电芯原材料，如正极材料、负极材料、电解液、隔膜等。中游聚焦于电芯制造、电池 PACK 和储能服务。下游项目运营方是电化学储能行业的最终用户，

负责将中游储能系统集成商所生产的储能系统应用于各种实际场景中，如发电侧储能、削峰填谷等。这些过程的智改数转网联离不开自动化设备与系统、信息化系统和工业互联网的赋能效应。

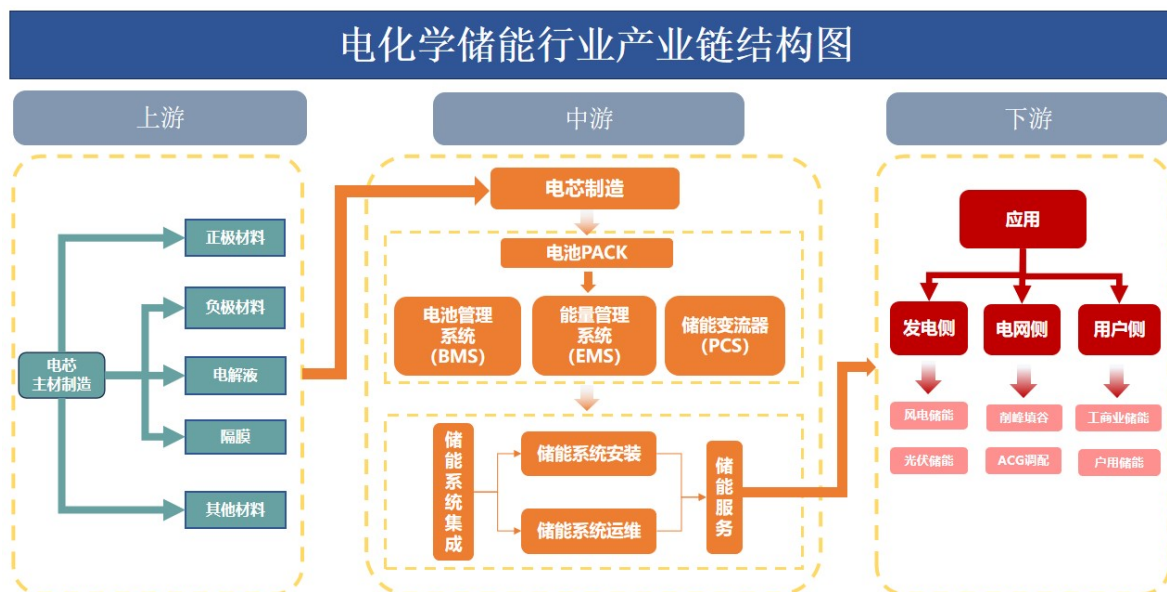


图 1 - 电化学储能行业产业链

电化学储能行业作为江苏省制造业重要部分，进行智能化改造是落实《江苏省深化制造业智能化改造数字化转型网络化联接三年行动计划（2025-2027年）》的关键举措。本指南主要面向江苏省电化学储能产业链的中游企业，聚焦于电芯制造、电池 PACK 和储能服务环节，同时覆盖了部分上游企业的电芯主材制造环节。指南参照工信部《智能制造典型场景参考指引（2025年版）》着眼于电化学储能行业的生产管理、生产作业、工厂建设、产品研发、工艺设计、运营管理、产品服务和供应链管理 8 大环节，既适用于具有良好自动化、信息化基础的行

业龙头和骨干企业，也适用于有改造提升需求的中小型企业，旨在为全省电化学储能企业智改数转网联应用提供实施方法与路径参考。

1.2 电化学储能行业概述

（1）全国行业现状

电化学储能是贯彻《中华人民共和国国民经济和社会发展的第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》的重要技术支撑，是加强生态文明建设，推进绿色低碳发展，积极稳妥地推进碳达峰碳中和的重要产业。电化学储能是指通过可逆的电化学反应，将电能与化学能相互转化的储能方式，主要包括锂离子电池、钠离子电池、液流电池、铅酸电池等多种技术路线。国内外已开展了电源侧、电网侧、负荷侧等不同场景下的储能多目标应用与工程示范，取得了一定的商业化运营成效。近年来，国家也出台了一系列政策，推动电化学储能等新型储能技术不断发展。我国电化学储能应用产业已逐步进入商业化，不同容量的集中式和分布式电化学储能在电网中得到了推广应用。

近三年全国电化学储能行业发展强劲，根据中国电力企业联合会发布的《2024 年度电化学储能电站行业统计数据》，在 2024 年，我国电化学储能依然呈稳步增长态势，全国电力安委会 20 家企业成员单位新增投运电站 515 座，总装机 37.13GW/90.51GWh，同比增长超 100%，相当于全国电源新增

装机的 8.57%，相当于新能源新增装机的 10.22%。全国在建电站 227 座、总装机 8.99GW/18.12GWh，累计投运电站 1473 座、总装机 62.13GW/141.37GWh，相当于全国电源总装机的 1.86%，相当于新能源总装机的 4.27%。

从市场规模来看，在“双碳”国家战略和“十四五”规划的引导下，中国电化学储能市场持续保持快速增长。据中商产业研究院预测，到 2030 年，电化学储能装机量需求将提升至 180GWh，累计装机规模超过 100GW。

从技术路径来看，技术路径呈现出加速多元化发展的趋势。虽然锂电池和铅蓄电池仍占据主导地位，但液流电池、钠硫电池等新型储能技术正快速推进，丰富了技术格局。

从能效水平来看，平均转化效率和综合效率不断优化，系统的运行可靠性依然保持稳定。据《2024 年度电化学储能电站行业统计数据》，电站整体安全运行良好，未发生重大安全事故，可靠性高达 0.98。

（2）我省行业发展现状

从产业规模来看，江苏省在新型储能产业领域整体实力位居国内前列。截至目前，江苏省新型储能项目累计建成投运规模显著，其中电化学储能占比高达 98.8%，龙头企业生产线设备的数字化率达到 70%~80%。据《2024 年度电化学储能电站行业统计数据》，截至 2024 年，江苏省在新增投运总装机方面

全国排名第三，累计投运总装机全国排名第四。据江苏省发展和改革委员会消息，全省新投运 48 个电网侧新型储能项目，总容量 528 万千瓦，累计建成投运新型储能项目 665 万千瓦，使得江苏省在电化学新型储能领域的规模跃居全国第一。

从区域发展情况来看，我省已形成以常州、苏州、无锡、南通、盐城、扬州、南京等市为代表的核心发展区域。其中，常州、无锡、苏州的锂电储能具备全国领先优势，代表企业有天合储能、中创新航、远景能源、阿特斯储能等。

从科研创新能力情况来看，江苏省内储能产业链关键技术攻关持续推进，储能企业在技术创新投入上不断加码，依托制造业创新中心和省级技术创新示范基地的引领，近 2000 家企业拥有核心发明专利，形成了技术与产业协同发展的局面。2025 年 1 月，江苏省工业和信息化厅会同多部门联合印发《加快推进新能源产业集群高质量发展行动方案》，方案明确提出要推进龙头企业的培育与标准化体系建设，力争到 2027 年在新一代光伏电池、超大型风电机组、氢能“制储输用”以及新型储能等关键技术领域实现重大突破，累计打造 10 家具有生态主导力和国际影响力的行业领军企业，培育 100 家国家级专精特新“小巨人”企业和约 400 家“筑峰强链”重点企业，进一步夯实产业高质量发展的基础。

1.3 行业智改数转网联现状

为了适应新型电力系统建设需求，应对储能高端化、智能化、绿色化发展的挑战，电化学储能企业亟需加快推进智改数转网联。通过引入先进的信息化系统与智能制造装备，得以实现生产过程的精细管控、供应链的高效协同、产品研究的快速迭代以及运营服务的智能优化。智改数转网联不仅有效降低生产和运营成本，提升产品质量和系统可靠性，还能增强对外部市场变化的快速响应能力和资源配置效率，支撑企业在激烈的行业竞争中实现转型升级和可持续发展，同时为新型储能大规模应用和能源绿色低碳转型提供坚实保障。

国家能源局要求各省规范新型储能并网接入，推动新型储能高效调度应用，促进新型储能产业高质量发展。电化学储能作为新型储能产业的重要分支，急需智能化、数字化和网络化的改造，为企业降本增效、引导产业转型升级，为新型电力系统和新型能源体系建设提供有力支撑。

江苏省贯彻落实党中央、国务院战略部署，将智能电网储能作为新型电力和新能源装备集群建设的重点工作列入《江苏省“十四五”制造业高质量发展规划》，并编制了《江苏省“十四五”新型储能发展实施方案》和《关于加快推动我省新型储能项目高质量发展的若干措施》，积极推进《江苏省深化制造业智能化改造数字化转型网络化联接三年行动计划》中关于分行业推进智能化改造数字化转型的重大战略部署。从智改数转

网联建设现状来看，在生产全过程环节，行业内企业普遍部署了 WMS、MES 等基础管理系统，并在核心工艺与装配环节引入 APS、QMS、EAM、LES 等先进制造执行与质量管理系统。同时，大量应用自动化产线、工业机器人、AGV 物流系统、智能工位及数字孪生技术，实现了生产计划协同、制造过程可视化管控、质量追溯、设备全生命周期管理及柔性化供应链响应能力，有效提升了产线智能化水平和生产运营效率。在产品全生命周期环节，企业在电芯结构、电池系统设计及储能系统集成等研发设计环节已建立起较为完善的设计体系，广泛使用 PLM、CAD、CAE 等研发工具，并逐步打通上下游协同设计链条，实现从研发设计、试制验证到标准化批量制造的贯通。在营销服务和售后管理方面，主流企业已应用 ERP、OA、SRM 等系统开展智能化运营管理，覆盖电子化采购、人力资源管理、资产管理、售后数据采集与远程诊断等多个方面。在供应链全环节，越来越多储能企业引入 CRM、SCM 等系统实现供应链全景可视、物流协同与订单跟踪。总体来看，电化学储能行业正处于“智改数转网联”加速推进阶段，头部企业率先实现从生产制造到管理运营的数字化升级，带动产业链上下游向智能制造与数据驱动型产业体系迈进。

我省电化学储能行业正在积极地推行“智改数转网联”，目前行业数字化转型仍存在以下痛点：

信息数据共享水平低。许多电化学储能企业的生产线使用

的智能管理系统之间的数据和信息难以共享，导致信息孤岛的形成，增加了生产运营的复杂性和成本。由于缺乏统一的数据标准和接口规范，生产线、质检、库存等环节的信息难以无缝衔接，影响了整体生产效率和智能化管理的水平，现有数字化系统起不到应有的作用。

企业转型水平不均衡。电化学储能行业内不同企业的数字化和智能化转型速度和深度不一致。部分企业在设备更新和信息化建设方面步伐较快，而其他企业在成本和技术壁垒面前进展缓慢，老产品改造困难，导致行业整体智能化程度参差不齐。电化学储能行业内各系统转型不平均。电化学储能行业涉及生产、储能、电力管理等多个环节，各个环节的系统转型速度和深度不一致。产线自动化普及进展快，成效好，但部分系统如安全检测、环境感知、能源感知的改造仍在起步。这种不平衡现象使得行业内上下游环节的协同效应难以实现，限制了产业链整体的“智改数转网联”转型。

新技术融合应用不深。随着行业对高精度数据分析和智能化需求的提升，AI 和大数据技术在提升电化学储能系统运营效率中的潜力被广泛认可。然而，这些技术的应用成本较高，尤其是在中小型企业，数据采集和处理的基础设施投入压力大，同时缺乏适应行业需求的具体应用解决方案，使得 AI 和大数据的实际应用效果大打折扣。

二、目标与架构

2.1 总体目标

为深入贯彻落实国家和省级制造强省、网络强省战略要求，依据《能源技术革命创新行动计划（2016—2030年）》《制造业数字化转型行动方案》《“十四五”新型储能发展实施方案》《新型储能制造业高质量发展行动方案》的总体部署，本指南旨在全面提升电化学储能行业的数字化、网络化和智能化水平。基于能源互联网和数字孪生技术，以电化学储能系统集成及电池模组制造全流程为实施载体，以数据驱动储能系统研发设计、生产制造、运维管理和梯次回收全生命周期为主线，以电芯制造、系统集成、智能运维等关键环节数字化升级为核心，以工业互联网平台和能源物联网为支撑，通过工艺优化、装备升级、智能诊断、云端协同、多能联控等技术集成应用，构建“研发制造-系统集成-智慧运维-循环利用”全链条贯通、“源网荷储”多场景协同、“数据流-能量流-价值流”深度融合的新业态。推动形成安全高效、绿色低碳、智慧互联的储能产业生态，助力构建新型电力系统和实现“双碳”战略目标。

2.2 实施架构

本实施指南基于电化学储能行业，参照工信部《智能制造典型场景参考指引（2025年版）》从设计、制造、使用、回收再利用等全生命周期进行化学储能的全链条智能化升级与数字

化改造。纵向贯通企业智能装备、过程控制系统、生产、经营管理系统等数据，实现电化学储能行业生产管控一体化。横向实现企业生产、质量、设备、能源、安环、供应链等业务之间的协同，提升企业决策质量。进一步提升企业综合效益和竞争力，实现电化学储能行业的高质量发展。



图 2-系统架构

整体框架包括了基础共性、赋能技术、智能设备、过程控制与状态监测、数据湖与数据分析、数字化全生命周期管理、数字应用等 7 个模块。

(1) 基础共性

a. 网络改造

构建高速、低延时的工业网络基础设施，支持储能系统内

设备的互联互通和大数据流的高效传输。采用工业以太网、5G网络或 TSN（时间敏感网络）等先进网络技术，确保关键数据传输的确定性与稳定性。此外，需兼顾网络的安全性与可扩展性，以应对设备扩容和业务升级带来的流量增长。

b. 数据中心

企业能够提供数据中心硬件监控平台，实时本地及远程监控硬件运行的关键性能指标，具备关键指标异常预警及异常应急保护措施，包括但不限于网络冗余、电源冗余、服务器集群等方式。

c. 信息安全

企业有安全策略、安全机制和安全工具来保障企业的信息系统不被未经授权的访问、使用、泄露、中断、修改和破坏，并保证信息系统服务保密性、完整性、真实性、可用性、不可否认性。

d. 技术人才

通过提升现有人才、多渠道引进特殊人才、大力度培养未来人才等多措并举，由企业家自上而下推动并在企业内达成广泛共识。通过“训战结合”方式，大力培养一批具备较强数字化素养的多领域交叉复合型专业人才，形成支撑企业长期发展的数字化专业团队。通过变革管理，帮助员工掌握使用数字化装备的技能，让员工积极拥抱数字化转型并投入其中，让其在

数字化带来的组织变化中可以有更多选择机会，并为企业员工特别是广大一线基层员工打开新的职业发展通道。

e. 评价体系

能够从指标体系、能力成熟度、评价方法、实施指南四个方面构建了企业内部评估体系，可对企业智能化改造数字化转型的状态进行持续性、系统化地评估，并可基于评估结果制定和执行改善计划，持续进行能力提升。

(2) 赋能技术

a. 人工智能

企业应充分应用人工智能技术（包括机器学习算法、深度学习框架、计算机视觉、语音识别和自然语言处理等），解决电化学储能行业中的关键难点问题。例如，可通过 AI 算法对电芯性能进行预测、优化模组焊接工艺、识别制造过程中的异常数据，并在产品实验与测试中实现精准分析。此外，人工智能还能为生产运营提供智能化决策支持，帮助企业提高生产效率、降低成本。

b. 工业大数据

企业应构建完善的工业大数据体系，通过采集、存储和分析生产设备运行数据、环境监测数据及能量管理数据，提升生产运营效率。结合大数据分析技术，可实现设备故障预测与预防性维护、工艺参数优化以及质量追溯。企业还需基于大数据

平台构建多维度数据模型，为储能系统全生命周期的管理提供决策依据。

c.工业云

通过部署工业云平台，企业可实现储能系统中各环节的设备互联、数据共享与集中管理。工业云支持资源弹性分配、异构设备统一接入跨厂区协同调度功能，帮助企业优化设备利用率，降低信息化成本。结合工业云服务，企业可快速上线新功能模块，满足快速变化的市场需求。

d.区块链

企业可利用区块链技术的去中心化、不可篡改和透明性特点，提升储能行业的信任机制。例如，区块链可在能源交易中实现可信数据记录，在供应链管理中提升数据透明度，并在产品溯源中确保信息的真实性。结合智能合约技术，企业还可自动执行能源调度和结算规则，简化管理流程。

e.网络标识

通过网络身份技术，企业可以为每台储能设备、关键零部件及其数据赋予独特的数字身份，实现设备与数据的可靠绑定。这不仅有助于设备的全生命周期追溯和精准定位，还能在多设备协同工作中确保身份可信性。网络身份技术还可以支持访问权限控制，进一步提高系统的安全性。

(3) 智能设备

智能设备在电化学储能行业的应用中，应全面满足高效化、智能化和集成化的需求。这些设备须具备自感知、自诊断和自调节功能，能够实时采集和分析电池生产、存储、运行等环节的数据。例如，智能仪表可实现精确的数据监测与远程传输，智能终端与物联网网关可支持设备互联与动态控制，智能机器人和自动化设备可显著提升制造效率与操作精度。通过智能设备的协同应用，企业不仅能够优化工艺流程、提升产品质量，还能实现精准预测与快速响应，助力储能系统的稳定运行与智能化升级。

(4) 过程控制与状态监测

a. 过程控制

在电化学储能电池的生产过程中，过程控制需实现对关键环节的精准管理和动态调节。利用分布式控制系统（DCS）、先进过程控制（APC）等工业控制技术，对涂布、叠片、注液、焊接等核心工序的温度、压力、速度等参数进行实时监控和调节，确保生产工艺的稳定性和一致性。结合智能化设备和物联网网关，过程控制系统可实现生产流程的自动化和闭环优化，与其他模块（如质量管理和能源管理）联动，进一步提升生产效率、降低能耗，保障产品性能的一致性和可靠性。

b. 状态监测

在储能行业的生产场景中，安全是重中之重。状态监测的核心在于对生产设备、环境和电池状态的全方位实时监控。通过传感器、智能仪表等监测设备，采集振动、温湿度、气体质量等环境参数，同时结合电芯的 SoC（荷电状态）和 SoH（健康状态）监测技术，对设备运行状况和产品安全性进行评估。监测数据通过物联网网关上传至大数据平台或数字孪生系统，支持故障预测、预防性维护和工艺优化，确保生产的连续性与安全性，并为生产过程中的智能调控提供数据支撑。

（5）数据湖与数据分析

a. 构建数据湖

构建数据湖是实现储能行业数据资源高效管理与应用的关键环节。通过数据湖技术，企业能够整合生产设备运行数据、工艺参数、环境监测数据以及电池全生命周期的性能数据，形成统一的数据存储平台。大数据湖需具备对多源异构数据的兼容性、高效的实时数据接入能力以及弹性扩展的存储架构，支持从生产现场到云端的无缝连接。这种统一的数据基础不仅能够为状态监测、质量管理和能源管理等模块提供强大的数据支持，还能通过开放接口实现与其他工业平台的协同，助力企业全面提升数据资产的利用效率。

b. 数据深度分析

基于大数据湖的数据分析是释放数据价值、提升生产效能

的核心手段。通过对生产过程和设备状态数据的深度挖掘，企业能够优化关键工艺参数，提升电池性能的一致性；同时，通过故障预测模型和异常检测算法，可实现设备的预防性维护，降低停机损失。此外，数据分析可支持从工艺优化到运营决策的全方位应用，例如，基于历史与实时数据的建模分析，可指导生产资源的合理分配和能量流的优化调度。综合来看，数据分析赋能企业将生产与管理过程数字化、透明化，为电化学储能行业的智改数转提供强有力的支撑。

（6）数字化全生命周期管理

a. 供应链管理

供应链管理是电化学储能行业数字化全生命周期管理的起点，应实现从原材料采购到物流交付的全流程数字化与协同优化。企业需建立供应链管理系统，通过实时数据监控采购、库存和物流环节，确保原材料的及时供应和高效流通。同时，结合大数据分析技术，对市场需求、供货周期和价格趋势进行预测，为采购策略提供决策支持。利用区块链技术追踪原材料的来源和质量，保障供应链的透明性和合规性，提升全链条的协作效率与响应速度。

b. 研发管理

研发管理环节需要实现电池产品从设计到试制的全流程数字化。企业应构建研发数字化平台，支持零件设计、材料加工

和工艺优化的虚拟仿真与建模。例如，通过 CAE（计算机辅助工程）工具对电池性能进行模拟测试，缩短产品开发周期；利用材料数据库与 AI 技术推荐优化的配方或设计方案，提高研发效率。此外，研发数据需与生产数据联动，为工艺改进和产品迭代提供精准的数据支撑，确保研发成果能够快速转化为生产力。

c. 生产管理

生产管理环节要求实现对生产计划、执行与过程的数字化管理和精准控制。通过 MES（制造执行系统）等平台，企业可对生产工序、人员调度、设备运行等进行统一调度和实时监控，确保生产计划高效执行。同时，企业需引入物联网技术，实现设备和生产线的智能互联，并通过数据采集与分析优化生产节奏和工艺参数。结合能源管理模块，动态调节能源消耗，提高生产线的能源利用效率，满足低碳制造的目标。

d. 质量管理

质量管理是电化学储能行业实现产品稳定性和安全性的核心环节。企业需建立数字化质量管理体系，实时采集生产过程中的关键质量参数，并结合大数据分析与 AI 技术，识别潜在的质量隐患。例如，通过 AI 视觉检测在极片的缺陷、焊接质量等，对不良品的溯源分析，优化生产工艺或原材料选择；利用智能检测设备实时采集数据，对电池产品进行精确的性能测

试和异常预警。同时，与状态监测模块联动，可在设备或工艺异常时及时触发质量控制流程，确保问题被快速发现并解决。

e.安环管理

安环管理需要对生产过程中的安全与环境风险进行全流程监控和数字化管理。企业需部署危害监测系统，对温度、气体泄漏、压力等安全参数进行实时监测，并通过预警机制快速响应可能的危险状况。结合双重预防机制（风险分级管控与隐患排查治理），确保生产环境的安全可控。在环境管理方面，企业需实现对废气、废液的数字化监控，优化能耗管理，减少污染物排放，推动绿色制造与可持续发展目标的实现。

f.能量管理

能量管理环节需要优化企业的能源使用效率，并推动储能系统的应用与集成。企业需建立数字化能源管理平台，对能耗数据进行实时采集与分析，优化生产设备的能源使用模式，避免能源浪费。通过负荷预测与能量平衡分析，实现储能系统与生产系统的高效联动，为企业降低运营成本。同时，能量管理还需与状态监测模块协同，监控储能系统的运行状态，确保能量流的稳定性和安全性。

g.运维管理

运维管理是数字化全生命周期管理的末端环节，应重点关注设备运行维护和资源回收利用的智能化提升。企业需建立状

态监测与故障诊断平台，结合设备运行数据进行预测性维护，延长设备使用寿命，避免非计划停机。针对储能系统的电池组件，需引入溯源机制和回收管理平台，对退役电池进行环保处理和梯次利用，推动资源循环化发展。通过物联网技术与数据分析，优化维护流程，提高资源利用效率，为全生命周期管理提供闭环保障。

（7）数字应用

数字应用是电化学储能行业智改数转的核心体现，是实现业务模式优化与价值提升的关键抓手。通过打造数字化协同与决策平台，企业能够整合市场预测、供应链管理、客户服务等核心模块，构建以数据驱动的生态协同体系。借助客户关系管理（CRM）系统，企业可实现客户全生命周期的智能化管理，从需求挖掘到售后服务的精准对接。与此同时，通过部署智能化工具，企业可以快速响应市场变化，优化资源配置，并通过数字化工具赋能产品创新与商业模式升级。最终，数字应用不仅能提高企业的市场参与能力，还将推动电化学储能行业形成智能化生态协作网络，全面提升行业竞争力和市场价值创造能力。

三、基础能力

3.1 网络基础设施能力建设

网络基础设施能力建设是企业信息化基础能力建设的关键

环节，通过采用工业以太网、工业无源光网络、工业无线、IPv6等技术，建立 5G+工业互联网，实现生产装备、传感器、控制系统与管理系统的互联。此外利用 IPv6、工业物联网等技术实现工厂内、外网以及设计、生产、管理、服务各环节的互联，支持内、外网业务协同。

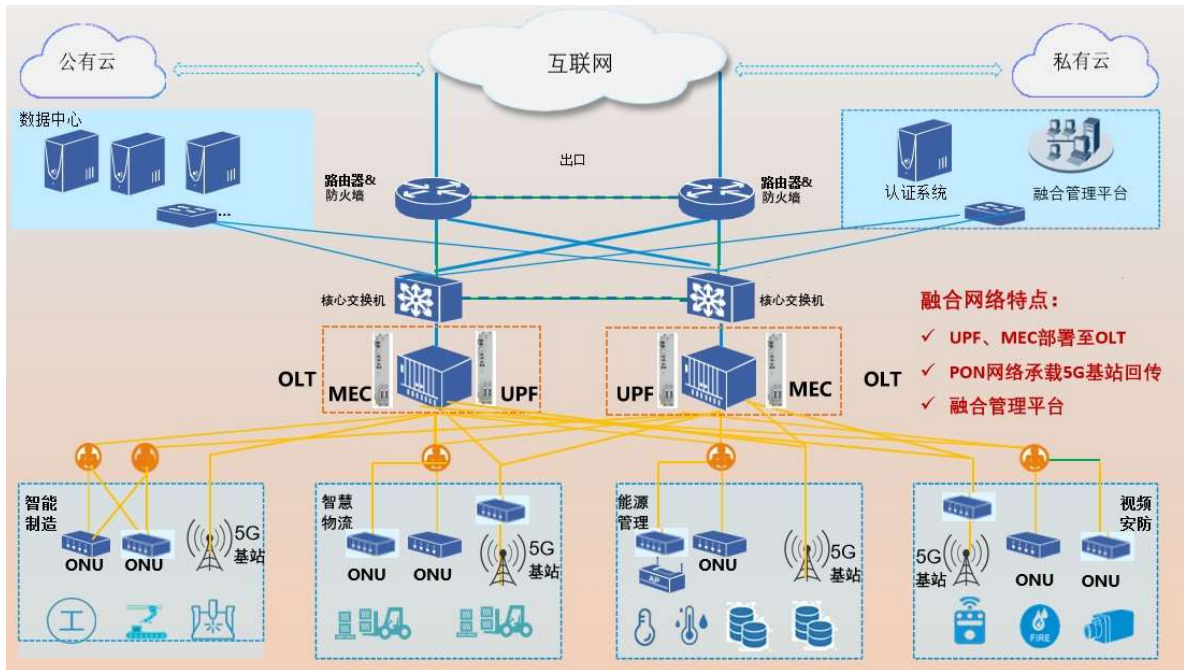


图 3 - 5G+工业 PON 融合方案

(1) 工业以太网

基于 TCP/IP 协议组建高效的网络支撑环境,充分利用现代化通信技术和信息技术,从网络安全管理角度,在信息处理技术层面上,将网络分为应用服务网络和工控网络。应用服务网络和工控网络通过网络集成技术,实现相关数据传递,生产制造管理系统、数据分析应用平台在应用服务网络中运行,工业控制与数据采集在工控网络运行,对采集数据进行清理、分析

后，由指定白名单服务器跨网端访问数据，进行分析决策，从而形成一套闭环的数据分析系统。

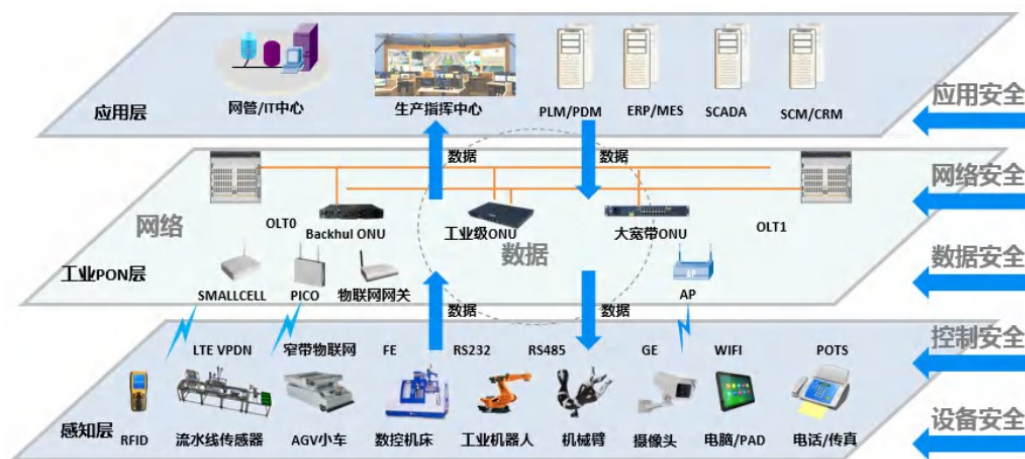


图 4-工业以太网架构图

应用服务网络采用高速以太网技术，网络节点由服务器、工作站、交换路由和外设等设备构成，是核心的资源网络，运行了 ERP、MES、OA 等企业核心数据资源和应用服务。企业公有云服务资源采用万兆以太网交换，工作站千兆网络连接，满足业务量日益增长的需求；根据数据业务功能不同，应用服务网络划分不同业务 VLAN:办公网 VLAN、研发设计网 VLAN、视频监控网 VLAN、无线网 VLAN，不同 VLAN 间既能相互共享所需的信息，又能分别独立运作，隔离安全风险，采用 ACL 控制访问技术加强虚拟网之间信息的安全性，企业内外部之间的信息实现了安全可靠的互联互通。

(2) 工业 5G 专网

根据电化学储能企业对网络定制化程度，分为 5G 独立专网、5G 混合专网、5G 虚拟专网三种基础网络，提供特定区域

覆盖、数据可靠传输、业务安全隔离、设备可管可控的基础连接网络，满足客户在组织、指挥、管理、生产、调度等环节的通信服务需求。

5G 基站部署方案：

工业行业应用主体为室内场景，结合电化学储能组件现场环境，故采用室分+室外宏站的方式进行 5G 无线覆盖，在园区周边增加 5G 宏站，同时根据用户车间内的基建情况，结合业务对网络的需求，安装 PRRU 数字化室分完成 5G 信号室内覆盖。

5G 无线频段选择：

采用 3.5GHz 中频，该频段在全球范围内得到了广泛的应用，在覆盖范围与传输速率之间达到较好平衡，适合大规模 5G 网络部署，穿透强，高带宽，低时延，可支撑 5G 大部分低时延、高带宽下的业务。

工业终端选择：

可选择 5GRedcap 工业网关，搭载雁飞 5GRedcap 通信模组 NX307 及高性能处理器，综合集成了 5G/4G/有线/WiFi 等通信模式，满足网络边缘海量物联网设备的通信和接入需求，提供全面的数据采集传输能力，广泛应用于各电化学储能各场景。





| | |
|---|--|
|  <p>AGV 互联</p> | <p>基于 5GRedcap 数据传输的 AGV 可以与物流系统、设备、人员进行实时的数据交互和通信，具备自主运行能力和跨空间移动可拓展能力，提高了 AGV 在复杂环境中的适应性和稳定性，使其能够更好地应对各种情况下的导航和运动控制需求。</p> |
|  <p>PLC 协同</p> | <p>基于 5GRedcap 的 PLC 联动控制可以提高数据传输速度和时延、增强灵活性和可移动性、提高数据安全性、支持远程监控和维护，以及连接大规模设备。因此，将 5G 技术应用于传统 PLC 产线可以提高生产效率，降低维护成本，并推动工业自动化的发展。</p> |
|  <p>机器人控制</p> | <p>基于 5GRedcap 数据传输的工业机器人可以与工控系统、设备、人员进行实时的数据交互和通信，高可靠低延时是实现工业机器人互联互通以及精准控制的关键，可有效降低人工成本，灵活修改工艺制程，提高生产效率。</p> |
|  <p>机器视觉分析</p> | <p>基于 5G 的机器视觉分析是将 5G 通信技术与机器视觉技术相结合，实现对图像或视频数据进行实时分析和处理的一种应用。5G 的高带宽、低延迟和大容量特性使得机器视觉数据能够更快速地传输和处理，从而加快质量检测，缺陷识别，目标检测，行为分析等。</p> |

图 5 - 5G Redcap 工业网关应用场景

联合运营商部署 5G+工业互联网，从生产外围环节逐步延伸至研发设计、生产制造、质量检测、故障运维、物流运输、安全管理等核心环节，培育形成协同研发设计、远程设备操控、设备协同作业、柔性生产制造、现场辅助装配、机器视觉质检、设备故障诊断、智能物流、智能巡检生产现场监测等典型应用场景，助力降本提质和安全生产。

(3) 工业物联网

随着各类智能技术的发展，信息服务的快速推进，万物互联已从概念走向现实，物联网正步入快速发展期，连接的数量和设备的类型增长迅速。

以 NB-IoT 为代表的低功耗广域网络 (LPWAN) 网络接入技术，解决了工业物联网大规模接入的问题，通过 NB-IoT 网络

稳定性技术的优势。NB-IoT 使用授权频段，系统带宽 200 kHz 的带宽，可基于原 GSM、UMTS 或 LTE 系统进行部署，也可独立新建，可实现设备平滑升级，大大降低了部署成本。该技术具备四大特点：一是具备支持海量连接的能力，每小区能支持约 5 万个连接；二是广覆盖，在同样的频段下，比现有的 GSM 900 MHz 网络增益 20 dB 以上，覆盖面积扩大约 100 倍；三是更低功耗，终端模块的待机时间可长达 10 年。

目前，NB-IoT 产业比较成熟，设备和芯片厂商也在积极推动产业链成熟与发展。设备方面，当前蜂窝物联网主要设备厂商包括华为、中兴、爱立信、诺基亚。在终端方面，以高通、华为海思、展锐(展讯&锐迪科)、MTK 为代表的芯片厂商，以及以移远为代表的模块厂商，纷纷在该领域布局，推出了支持 NB-IoT 制式的相关版本。

NB-IoT 主要应用场景有：能源在线检测系统、安全生产风险控制系统、监控系统、消防安全检测、设备数据采集等系统，实时采集设备数据，储存数据库。实现低成本保证数据回收率，提供较低的功耗，提高公司效益。

(4) 工业 PON

工业 PON 是一种典型的无源光纤网络,是指不含有任何电子器件及电子电源,ODN 全部由光分路器等无源器件组成,不需要贵重的有源电子设备。

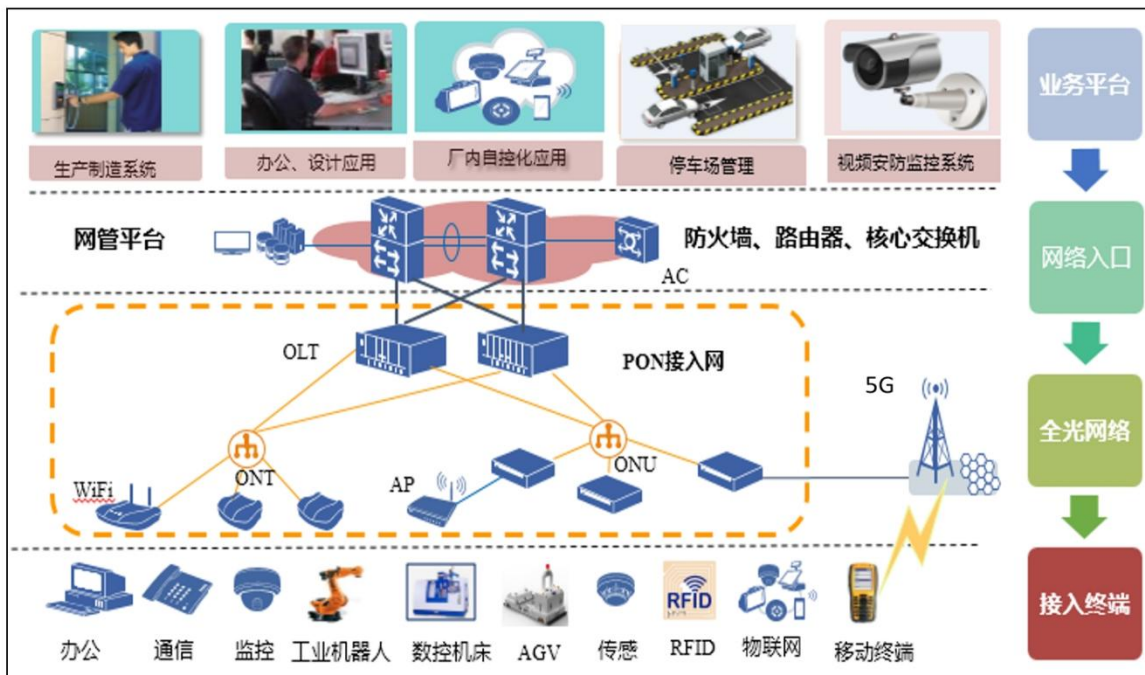


图 6 - 工业 PON 架构图

以工业 PON+5G 技术构建的双万兆智慧工厂，构成了工业互联网的全光网络基础。工业 PON 是制造业进行数字化与智能化转型的关键基础设施。在工厂内部，自动导引车（AGV）按照既定程序将生产所需物料准确送达各个指定工位，各类物料在生产线上经过一系列流转加工，最终转化为包装完备的电池产品。员工数量、位置分布、设备运行状态及各类生产数据均在智慧工厂系统中实时更新展示，身处办公室即可对工厂运营状况了如指掌。现场数据通过远程传输至控制平台，满足了远程实时监控的需求；利用工业 PON 承载生产网络，连接可编程逻辑控制器（PLC）等生产机柜设备，实现了工业设备与边缘控制器、控制云服务器以及工业 PON 自服务平台的网络互联，有效降低了电力消耗，提高了智能制造的效率。

(5) 标识解析体系

在电化学储能行业，标识解析体系的建设和应用是网络基础设施能力建设的重要组成部分。标识解析体系是指通过标识编码技术和解析系统，赋予每一个产品、零部件、设备等物理实体或数字对象唯一的“身份证”，从而实现对其全生命周期的追踪、管理和优化。

企业在建设标识解析体系时，首先需要制定统一的标识编码规则，确保每个储能电池、组件、系统等都有唯一的标识码。编码规则应考虑产品的类别、型号、生产批次、生产日期等信息。接着选择合适的标识载体，如 RFID 标签、二维码、NFC 芯片等，将其附着在产品或组件上，确保标识载体能够在电化学储能产品的整个生命周期内稳定工作。然后，应建立标识解析系统，实现对标识码的查询、解析和数据处理。系统应具备高并发处理能力，以满足大量产品的实时查询需求。最后，构建数据中心，存储标识对应的详细产品信息，如制造数据、性能参数、使用历史等。基于建立的标识解析体系，企业可以部署实现多种数字化智能化应用：

a. 产品追踪与溯源

通过标识解析，实现对储能电池从生产、运输、安装、使用到回收等全过程的追踪。在出现质量问题时，可以快速定位问题产品，实施召回或维护。

b. 生产管理优化

利用标识解析技术，实时监控生产线的运行状态，优化生产流程。通过数据分析，提高生产效率和产品质量。

c.智能维护与故障预测

结合物联网技术，实时收集储能系统的运行数据，通过标识解析进行数据分析，实现预测性维护，降低故障率和维修成本。

d.供应链管理提升

通过标识解析，实现供应链各环节的实时监控，提高物流效率，进而减少库存成本，优化库存管理。

e.客户服务与满意度提升

客户可以通过标识解析了解产品的真伪、性能和使用情况，提高客户满意度，提供个性化的售后服务，如远程故障诊断、定制化维护方案等。

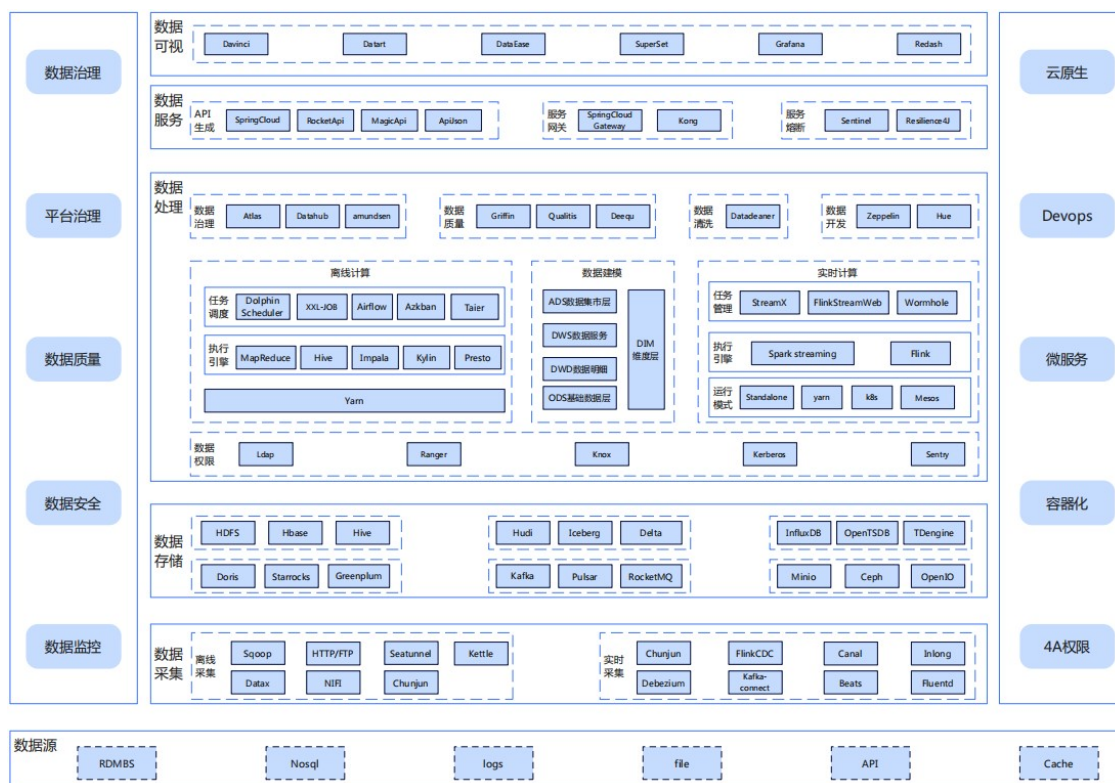
f.数据驱动的决策支持

利用标识解析系统收集的大量数据，进行深入分析，为企业的战略决策提供支持。

3.2 数据采集与应用能力建设

数据采集与应用能力建设是企业信息化基础能力建设的关键环节，通过先进的信息技术和物联网技术，数字化工厂能够实现生产过程的实时数据采集，包括“哑设备”改造、智能设备联网和边缘服务器部署。基于数据采集能力，企业能够及时获取生产状态、设备运行情况和产品质量等关键信息，并在

数据云平台中进行数据处理、汇聚与应用，从而进行快速决策和调整。



(1) “哑设备”改造

数据传感器加装：通过在“哑设备”上安装数据传感器，可以实时采集设备运行状态、生产数据等信息，实现异常预警与远程控制，提升设备稼动率。

设备联网：将“哑设备”通过有线或无线方式接入企业内部网络，实现设备与设备、设备与管理系统之间的互联互通，提高设备的管理效率。

数据传输与存储：将采集到的设备数据传输到企业内部的数据中心或云平台，进行存储和管理，为后续的数据分析和应

用提供基础。

车间通过智能检测装备，以及生产装备自带的检测装置，实现智能在线检测。

涂布机安装面密度检测仪监测面密度；辊压在线厚度检测仪检测膜片厚度；卷绕机安装 CCD 图像监测包覆质量数据；热压机安装 Hipot 短路检测仪监测电池短路；通过 X-RAY 检测设备监测正负极片的包覆；极芯配对机安装测厚仪测量极芯厚度；激光焊接机安装 CCD 检测台阶尺寸；周边焊安装 Hipot 短路检测仪检测电池短路情况；氦检机检测电池的密封性；电芯烘烤安装温度监控仪监控设备温度；注液机安装 Hipot 短路检测仪监测电池短路；一次、二次注液机安装电子秤测量电解液质量；通过 OCV 机检测电池电压、电流、内阻；以及采用膜片表面瑕疵检测设备、模切极片表面瑕疵检测仪等实现智能在线检测。所有设备的智能在线检测数据均通过上位机传输给 MES 系统。



图 8 - 设备接入传感器

(2) 智能设备联网

可编程逻辑控制器 (PLC)：通过 PLC 实现设备的自动化

控制，同时采集设备运行数据，实现设备状态的实时监控和远程控制。

工控机：工控机作为工业现场的数据处理中心，负责采集、存储、分析和处理设备数据，实现设备数据的集中管理和应用。

采集模块：采集模块负责将设备数据转换为数字信号，便于后续的数据传输、存储和分析。采集模块应具有高精度、高可靠性、高抗干扰性等特点。

关键工序设备部署 RJ45 等网络接口。设备支持 Profinet、Cclink、EtherCAT 等通讯协议，如搅拌匀浆、辊压、化成设备采用 Profinet 协议，涂布、激光模切、卷绕设备采用 EtherCAT 协议，插拔钉机、OCV 开路电压测量、DCIR 边电阻测量采用 CC-link 协议。





图 9 - 涂布机、辊压机、卷绕机联网

(3) 边缘服务器部署

实时数据处理：在边缘服务器上进行数据的初步处理，以减少延迟和带宽使用。

本地决策支持：边缘服务器可以执行一些本地决策以减轻云服务器的处理压力，如设备控制指令，而不需要与云端通信。

针对生产过程中存在的大量多源异构数据，例如结构化业务数据、时序的设备监测数据、非结构化工程数据等，搭建数据采集网络与平台并采用分布式计算引擎等对数据进行综合加工、处理和挖掘。设备与边缘物联平台（MaaS）的主要功能包括：

1) MaaS 直接和 PLC 连接或者运行于设备工控机上，实现设备层的网络组态，确保设备层工艺参数、运行状态等数据的实时抽取、处理、转存与汇总。

2) 实时的数据采集与处理。采集与处理来自涂布机、焊接机、注液机、卷绕机等设备中的数据，将数据存储到 Oracle 关系数据以及 Redis 时序数据库中，同时根据需要发布报警信息和控制操作。

3) 为 BI、MES、ESOP、SPC、EDA 等系统提供数据集成服务。系统以 Webservice、MQ、WCF 等形式作为接口实现数据集成。

(4) 数据汇集与应用

数据汇集：将来自不同源的数据进行整合，进行数据清洗与转换，确保数据的准确性和一致性，构建统一数据中台，整合分散系统实现生产运营数据流贯通。

数据应用：将数据提供给多种业务智能体，例如通过数据化视图工具将数据转化为可视化的报告和仪表盘，支持管理决策；利用机器学习算法对数据进行预测分析，优化生产流程，提高效率；基于数据分析预测设备故障，提前进行维护，减少停机时间；通过分析供应链数据，优化库存管理，降低成本。

通过实施自动化集中控制系统，搭建企业大数据平台。通过西门子的 S7-200 系列可编程控制器，控制各种设备以完成自

动化集中控制系统的工艺控制要求和通讯网络，对中央空调水系统、空调通风系统、压缩空气系统、工艺水系统以及废气排放等设备进行监视和控制，满足控制系统的控制逻辑达到工艺要求。基于 PC 的 SCADA 软件（WinCC）系统设置为上位机、本地 HMI 人机界面，实行监视控制与数据采集，并在上位机处设置打印机，对相关的常用数据进行实体纸质文件归档处理。

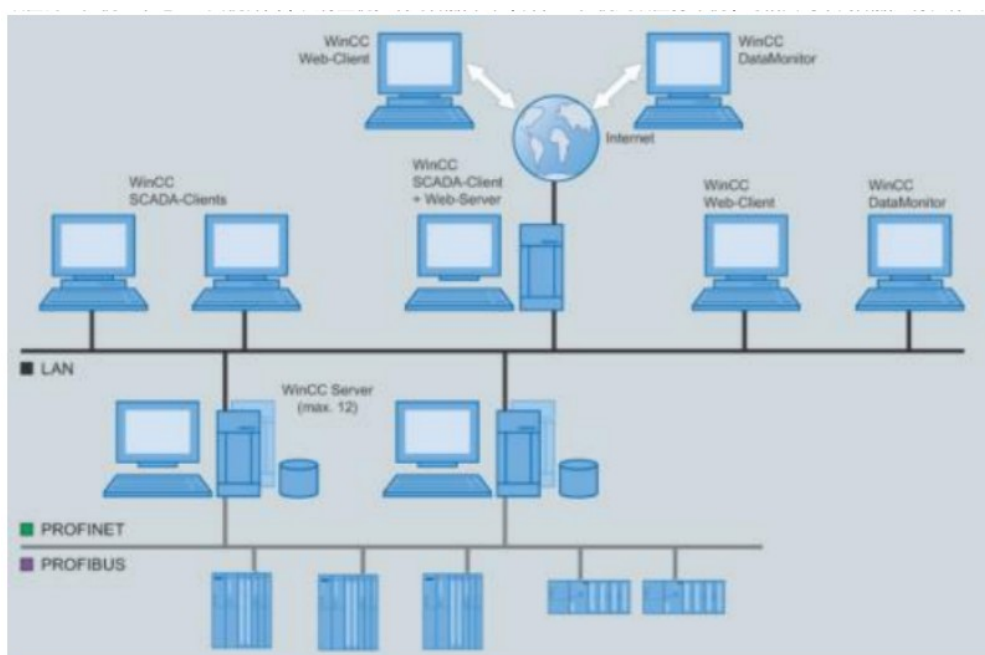


图 10 - WinCC 系统架构

（5）数据处理能力建设

数据云平台搭建：提供大规模数据存储解决方案，实现高效的数据管理，并利用大数据分析工具对数据进行深入分析，挖掘有价值的信息。

算力增强：增加高性能计算资源，为复杂的数据处理任务提供足够的计算能力。可以根据需求弹性扩展计算资源，以应对不同规模的数据处理任务。

3.3 信息系统能力建设

工业信息系统能力建设是企业信息化基础能力建设的关键环节，主要包括 ERP、MES、DCS 等信息化生产管理系统的建设应用。为了进一步提升这些系统的集成和协同能力，可以采取以下措施来将这些系统分为生产类、管理类和跨企业和跨环节的系统进行打通。

（1）信息化生产管理系统

企业资源规划管理系统（ERP）：集成化的管理软件，涵盖了企业的生产、采购、库存、销售、财务等各个业务环节。通过 ERP 系统，企业可以实现资源的优化配置，提高生产效率，降低成本。

制造执行系统（MES）：实时监控和优化生产过程的软件系统，它可以帮助企业实现生产计划的制定、生产过程的监控、生产数据的采集和分析等功能。通过 MES 系统，企业可以提高生产效率，降低生产成本，提高产品质量。

分布式控制系统（DCS）：集中监控和分散控制的系统，它可以将生产过程的数据进行实时采集、处理和监控，实现对生产过程的精确控制。DCS 系统可以提高生产过程的自动化程度，提高生产效率，降低生产成本。

云化工业软件：将工业软件部署在云端，通过互联网进行访问和使用。云化工业软件具有部署灵活、使用方便、成本较低等优势，可以帮助企业实现资源的共享和优化配置。

工业互联网平台：开放的、互联互通的生态系统，它可以将企业的生产、管理、服务等各个环节进行整合，实现数据的共享和协同。工业互联网平台可以帮助企业实现智能化生产、个性化定制、网络化协同等目标。

（2）生产类系统打通

优化生产流程：通过 MES 系统实时监控生产过程，确保生产流程的顺畅和高效。

设备数据集成：将 DCS 系统与 MES 系统进行集成，实现设备数据的实时采集和传输，为生产决策提供数据支持。

生产计划与调度：利用 ERP 系统进行生产计划的制定和调度，确保生产计划的合理性和可执行性。

（3）管理类系统打通

将 ERP 系统与供应商管理系统、库存管理系统等集成，实现供应链的协同管理，提高供应链的效率和响应速度。将 MES 系统与质量管理系统进行集成，实现质量数据的实时采集和分析，提高产品质量和客户满意度。将 ERP 系统与财务管理系统进行集成，实现财务数据的实时传输和共享，提高财务管理的准确性和效率。

（4）跨企业和跨环节的系统打通

将生产类系统与管理类系统进行集成，实现生产环节与管理环节的协同，提高整个企业的运营效率。通过建立企业间信息共享平台，实现不同企业之间的信息互通和协同合作，提高

整个产业链的协同效率和整体竞争力。利用云计算和大数据技术，实现海量数据的存储、分析和挖掘，为企业的决策提供更准确的数据支持。

通过整合上述信息系统将企业的研发、供应链、制造、协同和 IT 平台全环节打通。

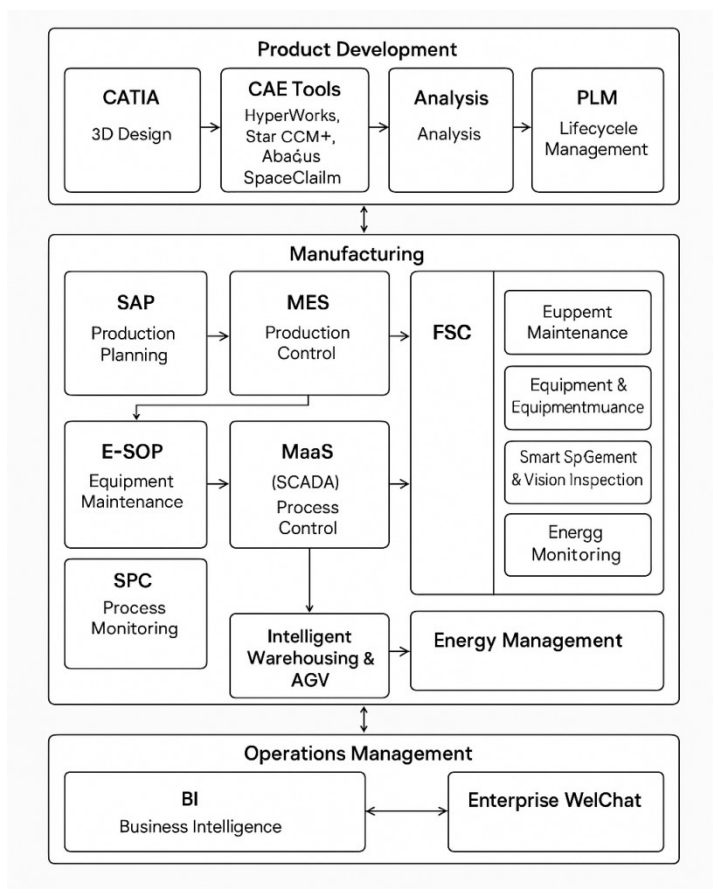


图 11 - 信息系统应用架构

在产品研发阶段，利用 Catia3D 技术完成全方位的三维设计工作；运用多种授权的 CAE 工具，例如 Hyperworks、StarCMM+、Abaqus、spaceclaim 等，覆盖热力学、力学分析、流体动力学等多个仿真领域；借助 Matlab 和 Comsol 等软件工具进行电化学分析、产品寿命评估、可靠性测试以及等效电路

模型的仿真研究；并通过 PLM 系统实现对产品全生命周期的集中管理。在生产制造阶段，采用 SAP 系统的计划模块来细化生产计划至每个工艺步骤，以响应市场需求和客户订单，触发原材料的采购流程；MES 系统接收来自 SAP 的生产计划和 PLM 中的物料清单信息以指导生产；MES 同样用于监控生产流程，记录电芯、原料、设备使用、时间及检测参数等数据；E-SOP 系统则负责设备维护的管理，包括点检、巡检、保养和维修；智能设备和视觉检测系统用于收集生产数据和执行自动检测；SPC 系统监控设备数据，对异常情况进行报警并控制生产停止；MaaS(SCADA)系统搜集设备数据，并将工艺参数实时传送到设备端；智能仓储和 AGV 系统确保物料的高效配送；能耗系统则负责搜集水电等能源消耗数据，以支持节能减排工作。在经营管理环节，使用 BI 系统构建多个业务分析模型，用于监控生产计划、设备综合效率以及电芯的良品率，并通过与企业微信的集成，实现异常信息的移动端即时推送。

3.4 信息安全能力建设

信息安全能力建设是企业信息化基础能力建设的关键环节，对于电化学储能行业来说，尤为重要。以下从设备安全、控制安全、网络安全、平台安全、应用安全和数据安全等角度，选择论述企业工业信息安全能力建设的基本框架和部署方式。

(1) 设备安全工具及部署

在设备上部署工业级入侵检测系统（IDS），可实时监控

设备活动，检测并报告异常行为，帮助及时发现并响应潜在的安全威胁。使用安全信息和事件管理（SIEM）系统收集和分析来自设备的日志数据，提供安全事件的集中管理和响应。通过设备固件更新工具，定期更新设备固件，修补安全漏洞。



图 12 - 工业互联网安全监测系统

（2）控制安全工具及部署

部署访问控制系统（ACS），限制对控制系统的访问，确保只有授权用户才能操作，防止未授权访问导致的安全风险。在访问控制系统上实施多因素身份验证（MFA），提高用户身份验证的可靠性。使用审计日志分析工具分析控制系统的审计日志，识别潜在的安全威胁，为安全事件调查和取证提供支持。

（3）网络安全工具及部署

网络边界处部署有工业级防火墙进行保护，并且在网络的每一层都有防火墙，核心层部署有核心防火墙，汇聚层部署有汇聚防火墙，接入层部署有接入防火墙，每一层防火墙都有严格的网络策略进行防护。根据各个区域的重要性以及业务 SLA 要求，对重要区域实行双机冗余。

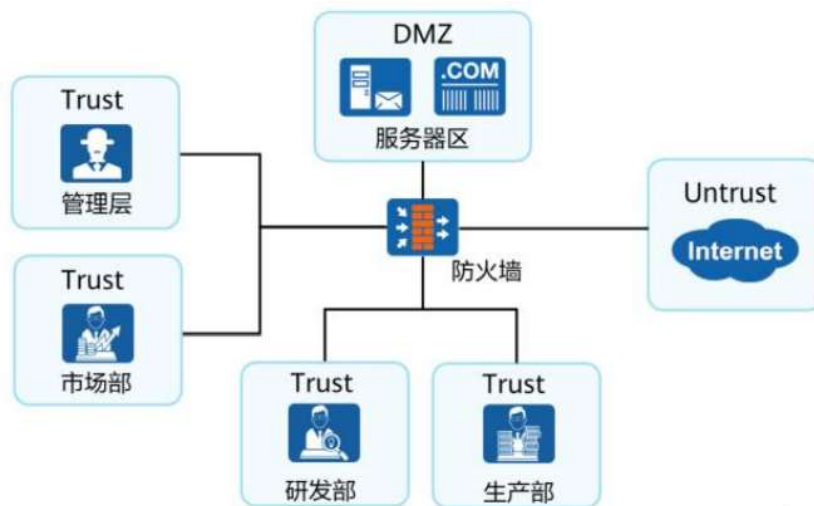


图 13 - 防火墙部署架构

办公网络通过防火墙策略访问 Internet。生产网、研发网不允许访问 Internet，区域互访通过防火墙策略进行管控禁止，设置 DMZ 区域，并建立内网/外网/DMZ 区访问规则，各区域进行 IP 和端口的策略管控。所有对网络策略进行新增、修改、删除的操作都有 OA 流程申请的审批记录和防火墙自身的日志记录，确保没有未经授权对防火墙策略进行变更。内部网络进行了网络区域的划分，隔离出办公网络、生产网络和研发网络。三个网络间相互隔离，若办公网络需要访问其它网络，必须申请开通堡垒机，通过堡垒机访问其它网络。关键生产网络划分了大量子网，子网之间互相隔离，避免病毒、木马通过网络传播。

对于敏感的生产环境，需要使用虚拟专用网络（VPN）为远程访问提供加密通道，确保数据传输安全，防止数据在传输过程中被窃取。此外，在工业系统内网部署入侵防御系统（IPS），实时检测并阻止恶意攻击，提高网络的安全性。

(4) 平台安全工具及部署

引入应用程序安全测试工具可帮助在开发阶段测试应用程序，发现并修复安全漏洞。使用安全配置管理工具确保平台配置符合安全标准，减少配置错误。部署数据库安全工具，保护数据库免受未授权访问和攻击，确保数据的安全性。

(5) 应用安全工具及部署

使用安全编码工具帮助开发人员编写安全的代码，减少安全漏洞，同时使用安全漏洞扫描工具定期扫描应用程序，发现并修复安全漏洞，并在安全测试平台进行自动化安全测试环境，提高测试效率，确保应用程序的安全性。

应用主机深度防护系统与工业安全卫士，服务端设置入侵防御规则、恶意软件扫描配置、进程黑名单，并在客户端配置软件应用白名单。参考工业和信息化部制定的《工控系统信息安全防护指南》，部署应用程序白名单软件，只允许经过工业企业自身授权和安全评估的软件运行，其他恶意软件无法运行，达到安全防护的目的。



图 14 - 终端应用加固系统

(6) 数据安全工具及部署

使用数据加密工具对敏感数据进行加密，确保数据在传输和存储过程中的安全性，防止数据被窃取。使用数据备份和恢复工具定期备份数据，并在需要进行恢复，防止数据丢失或损坏。利用数据访问控制工具限制对数据的访问，确保只有授权用户才能访问，防止数据泄露。

专门针对高保密数据搭建 vdi 系统，关键数据处理和研发工作都在 vdi 中独立进行，禁止私自从 vdi 导出数据。区域边界部署 ipguard 加密系统对数据进行落地加密防护。通过工业安全卫士进行禁用 USB 等安全防护功能，服务器端补丁更新采用联网方式。使用 office 文件的敏感性标签功能，仅对有安全 office 账户权限的人能够访问设置了密级的文件内容，非安全账户无法访问任何高密级的文档。在物理安全维度，将公司区域按照密级划分为“红黄绿”区，高保密区域禁止任何外部的

人员、设备进入，避免通过口头或图像视频、录音等引起泄密。

建设数据中心机房，机房配备 UPS 持续供电，确保服务器 24*7 运行不间断；服务器采用超融合服务器及虚拟化软件构建私有云，实现关键业务所需的计算资源、存储资源和管理工具，在多台物理服务器的基础上虚拟出批量虚拟机实现基础云服务；通过私有云服务部署的分级授权和 aFW 防火墙、奇安信服务器椒图、天擎终端防护、科力锐备份一体机、鸿翼企业网盘、堡垒机等方式实现数据安全、业务安全、网络安全、云灾备。

四、 环节与场景

为加快推动制造业的数字化转型和智能化升级，工信部结合智能制造的发展实践，修订并形成了《智能制造典型场景参考指引（2025 年版）（征求意见稿）》。该指引基于多年智能制造的探索实践，以及技术创新和融合应用的发展趋势，凝练出了 8 个环节的 40 个智能制造典型场景，旨在为智能工厂的梯度培育、智能制造系统解决方案的“揭榜挂帅”以及智能制造标准体系建设等工作提供参考和指导。

在此基础上，本指南进一步针对电化学储能企业的智能化改造、数字化转型和网络化联动提供了全面指引，覆盖了企业运营的全部 8 个环节。具体包括生产全过程的 3 个环节：生产管理、生产作业和工厂建设；产品全生命周期的 4 个环节：产品研发、工艺设计、运营管理和产品服务；以及面向产业链上

下游的供应链管理环节。



图 15-智能制造典型场景参考指引

通过这样的详细指引，旨在助力电化学储能企业实现全面、高效的智能化和数字化转型升级。在智改数转网联的过程中存在设备、系统之间没有互联互通，人工管理效率低下、安全生产压力大、设备管理能力低、能源利用率不足、产品质量追溯难、产业链上下游协同水平不高等痛点。电化学储能企业应以设备智能管控、产品质量优化、生产协同优化、绿色生产为切入点，提升排产管理、生产管理、仓储管理、设备管理、质量管理、安全管理、能源管理、环保管理等场景的数字化水平，推动电化学储能行业向全流程智能化、全链条数字化方向加速转型。

4.1 生产管理

4.1.1 电池生产计划优化

(1) 存在问题

在电池生产过程中，涉及的关键生产要素，如正负极材料、电解液、隔膜等的库存与消耗数据较为分散。目前主要依赖人工进行统计，这种方式不仅效率低下，而且容易导致信息滞后、准确性难以保证，进而影响库存周转以及采购决策的科学性与及时性。

人工核算产能负荷、良率波动及材料消耗等工作量巨大，且人工操作易出现误差。在面对订单变更与设备异常等情况时，难以快速做出响应并调整生产计划，使得生产计划编制的及时性和准确性难以满足实际生产需求。

销售预测往往存在一定的偏差，而 PACK 组装计划与采购节奏未能实现有效衔接。这就导致生产与发货环节难以顺畅衔接，出现财务账实不符的情况，同时库存积压与交付延误问题并存，严重影响了企业的运营效率和客户满意度。

(2) 场景描述

当前电池生产计划管理面临的核心挑战，在于传统人工管理模式难以应对复杂多变的电池生产要素协同需求。分散的数据采集方式导致库存与消耗信息割裂，静态的计划编制方法无法适应动态的市场变化，而储能产品的采购、生产与交付环节

的脱节更造成了整体运营效率的低下。这种状况迫切需要通过数字化手段重构电池生产计划管理体系，建立覆盖全要素、全流程的智能决策机制。当前的优化方向应聚焦于实现电池生产要素的实时可视、计划制定的动态响应以及储能上下游供应链各环节的精准协同，从而在满足客户交付需求的同时，达成资源利用的最优配置。

（3）解决方案

电池生产计划优化场景中，首先实现对电芯装配、注液、化成分容等核心工序中“人、机、料、法、环、测”等关键制造要素的动态采集与可视化监控，确保实时掌握产线状态、设备效率、物料供应及品质检测等信息，为生产计划提供精准的数据支撑。

针对影响主生产计划制定的瓶颈因素，如产线负荷、电池材料到料周期及设备 OEE 等，系统将其固化进 SAP/ERP 平台，构建产能负荷平衡模型，量化产线各环节的资源约束，明确瓶颈所在，指导计划制定过程。

在主生产计划的制定环节，通过能力约束平衡算法，结合优先分配紧急订单、按照瓶颈设备产能进行分批排序以及每轮迭代优先满足高性价比订单等策略，合理分配电池原材料、设备资源与人力资源，兼顾采购周期、品质保障及设备维护安排，提升计划的科学性和可执行性。

与此同时，采用限产回退式滚动规划和基于拉格朗日松弛的混合整数规划等先进数学算法，强化计划执行的闭环管理，能够及时识别异常并支持动态调整，从而提升整体资源利用率和响应灵活性。

在物料需求管理方面，优化 MRP 参数及计划约束逻辑，借助历史交付准确率进行贝叶斯估计优化采购提前期，结合需求波动率计算安全库存水平，实现面向采购提前期、安全库存策略与订单需求波动的柔性生产计划优化，确保物料保障与市场交付之间的动态平衡，促进电化学储能行业的高效稳定生产。

该方案的应用场景可以参考以下案例：

某电池智能制造工厂通过 ERP 系统与 MES、CRM、SCM 系统集成，实时采集生产过程中的人员、设备、物料消耗、工序等信息。围绕 ERP 逐步建立分层次地供产协同计划体系，包括从中长期需求预测、主生产计划、物料需求计划，以及订单交付等。通过对工厂数据、生产计划、MRP、能力计划、成本核算等的管理，使得公司能够有效地降低生产过程库存与成本，以提升供应链的运作效率。应用 ERP 系统生产计划模块进行生产计划管理、维护生产主数据、生产控制管理、生产成本核算及生产订单处理。ERP 系统依据销售订单结合交期、品种等约束条件制定主生产计划，根据主计划与 BOM 基础数据进行 MRP 计算，制定物料采购需求。ERP 采购需求自动转入到 EPS

系统内对供应商下达采购计划、采购订单、管理采购合同。

该系统采用的主要技术如下：

通过自研 MES 制造执行系统实现对电芯生产计划的精确管控，系统实时采集涂布、注液、化成等关键工序的工艺参数，并与 MAAS 平台联动建立动态预警机制。当检测到极片面密度偏差或电解液灌注异常时，系统自动触发报警并分析根源，为生产计划调整提供决策支持，有效降低储能电池生产过程中的质量损耗。

| 2022-10-24 - 2022-10-24 工序OK RATE | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|---------|-----------|------------|---------|------|---------|-------|-------|---------|------|---------|-------|-------|---------|------|
| 产线 | 工序编号 | 工序名称 | 日期 | 总产出 | 固耗 | 一次 | | | | | | 最终 | | | |
| | | | | | | 良品数量 | 缺陷数量 | 报废数量 | 良率 | 目标良率 | 良品数量 | 缺陷数量 | 报废数量 | 良率 | 目标良率 |
| | L1ALC01 | 负极激光切割 | 2022-10-24 | | | | | | | | | | | | |
| | L1WNA01 | A电芯卷绕 | 2022-10-24 | 3322.00 | 4.00 | 3306.00 | 0.00 | 16.00 | 99.64% | | 3306.00 | 0.00 | 16.00 | 99.64% | |
| | L1WNB01 | B电芯卷绕 | 2022-10-24 | 3171.00 | 4.00 | 3156.00 | 3.00 | 12.00 | 99.65% | | 3156.00 | 3.00 | 12.00 | 99.75% | |
| | L1HPA01 | 热压和Hi-pot | 2022-10-24 | 6594.00 | 0.00 | 6591.00 | 0.00 | 5.00 | 99.95% | | 6591.00 | 0.00 | 3.00 | 99.95% | |
| | L1PAI01 | 电芯配对 | 2022-10-24 | 3340.00 | 0.00 | 3286.00 | 54.00 | 0.00 | 98.38% | | 3291.00 | 49.00 | 0.00 | 100.00% | |
| | L1USW01 | 超声波焊接 | 2022-10-24 | 3289.00 | 1.00 | 3288.00 | 0.00 | 1.00 | 100.00% | | 3288.00 | 0.00 | 1.00 | 100.00% | |
| | L1CLW01 | 转接片激光焊接 | 2022-10-24 | 3288.00 | 0.00 | 3288.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00% | | 3288.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00% | |
| | L1MYL01 | 包Mylar | 2022-10-24 | 3287.00 | 0.00 | 3278.00 | 9.00 | 0.00 | 99.73% | | 3287.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00% | |
| | L1LOC01 | 入壳 | 2022-10-24 | 3283.00 | 0.00 | 3283.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00% | | 3283.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00% | |
| | L1CAW01 | 顶盖激光焊接 | 2022-10-24 | 3283.00 | 0.00 | 3263.00 | 19.00 | 1.00 | 99.39% | | 3282.00 | 0.00 | 1.00 | 99.97% | |
| | L1FH01 | 后盖检 | 2022-10-24 | 3270.00 | 0.00 | 3263.00 | 7.00 | 0.00 | 99.79% | | 3269.00 | 1.00 | 0.00 | 100.00% | |
| | L1BAK01 | 烘烤 | 2022-10-24 | 3082.00 | 0.00 | 3066.00 | 0.00 | 16.00 | 99.48% | | 3066.00 | 0.00 | 16.00 | 99.48% | |
| | L1FU01 | 一次注液 | 2022-10-24 | 3065.00 | 0.00 | 3059.00 | 5.00 | 1.00 | 99.80% | | 3063.00 | 1.00 | 1.00 | 99.97% | |
| | L1FIP01 | 插化成钉1 | 2022-10-24 | 3063.00 | 0.00 | 3047.00 | 16.00 | 0.00 | 99.48% | | 3063.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00% | |
| | L1FSC01 | 真空静置1 | 2022-10-24 | 3184.00 | 0.00 | 3184.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00% | | 3184.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00% | |
| | L1FFP01 | 插化成钉1 | 2022-10-24 | 3168.00 | 0.00 | 3168.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00% | | 3168.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00% | |
| | L1FOR01 | 化成 | 2022-10-24 | 3024.00 | 0.00 | 3024.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00% | | 3024.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00% | |
| LFP01 | L1SIP01 | 插化成钉2 | 2022-10-24 | 2992.00 | 0.00 | 2992.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00% | | 2992.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00% | |
| | L1SSC01 | 真空静置2 | 2022-10-24 | 2463.00 | 0.00 | 2463.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00% | | 2463.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00% | |
| | L1SPP01 | 插化成钉2 | 2022-10-24 | 2468.00 | 0.00 | 2468.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00% | | 2468.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00% | |
| | L1SU01 | 二次注液 | 2022-10-24 | 2468.00 | 0.00 | 2468.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00% | | 2468.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00% | |
| | L1SPW01 | 密封钉激光焊接 | 2022-10-24 | 2467.00 | 0.00 | 2466.00 | 1.00 | 0.00 | 99.96% | | 2466.00 | 1.00 | 0.00 | 100.00% | |
| | L1RH01 | 后盖检 | 2022-10-24 | 2460.00 | 0.00 | 2460.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00% | | 2460.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00% | |
| | L1CAP01 | 容量测试 | 2022-10-24 | 2108.00 | 0.00 | 2100.00 | 8.00 | 0.00 | 99.62% | | 2100.00 | 8.00 | 0.00 | 100.00% | |
| | L1FST01 | 静置1 | 2022-10-24 | 2369.00 | 0.00 | 2369.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00% | | 2369.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00% | |
| | L1FCV01 | OCV1 | 2022-10-24 | 2321.00 | 0.00 | 2319.00 | 2.00 | 0.00 | 99.91% | | 2319.00 | 2.00 | 0.00 | 100.00% | |
| | L1SST01 | 静置2 | 2022-10-24 | 2085.00 | 0.00 | 2085.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00% | | 2085.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00% | |
| | L1SCV01 | OCV2 | 2022-10-24 | 2133.00 | 0.00 | 2129.00 | 4.00 | 0.00 | 99.81% | | 2129.00 | 4.00 | 0.00 | 100.00% | |
| | L1ADS01 | 调SOC | 2022-10-24 | 2034.00 | 0.00 | 2033.00 | 1.00 | 0.00 | 99.95% | | 2033.00 | 1.00 | 0.00 | 100.00% | |
| | L1TST01 | 静置3 | 2022-10-24 | 2505.00 | 0.00 | 2505.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00% | | 2505.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00% | |
| | L1TCV01 | OCV3 | 2022-10-24 | 2505.00 | 0.00 | 2502.00 | 3.00 | 0.00 | 99.88% | | 2502.00 | 3.00 | 0.00 | 100.00% | |
| | L1DCR01 | DCR | 2022-10-24 | 2510.00 | 0.00 | 2510.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00% | | 2510.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00% | |
| | L1FW01 | 包膜 | 2022-10-24 | 2522.00 | 0.00 | 2520.00 | 2.00 | 0.00 | 99.92% | | 2522.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00% | |
| | L1FIN01 | 终检 | 2022-10-24 | 2520.00 | 0.00 | 2425.00 | 95.00 | 0.00 | 96.23% | | 2514.00 | 6.00 | 0.00 | 100.00% | |
| | L1AC01 | 出货OCV | 2022-10-24 | 2597.00 | 0.00 | 2554.00 | 43.00 | 0.00 | 98.34% | | 2597.00 | 0.00 | 0.00 | 100.00% | |

图 16 - 生产计划监控

1) 基于 SAP 系统构建智能化主生产计划体系，整合 2 个月确定订单和 4 个月销售预测数据，考虑不同化学体系切换成本、

瓶颈设备产能等约束条件，自动生成最优排产方案。系统特别针对储能电池特点，在计划输出时自动平衡紧急订单交付、批量经济性和工艺相似性组批等要素，并关联物料主数据自动修正工单数量。

| 工序 | 子... | 开始 | 开始 | 工作中心 | 工厂 | 标文本 | 工序短文本 | 系统状态 | 结束 | 工序数量 | 计... | 确认的产量 | 确认的成品 |
|------|------|------------|----------|----------|------|---------|---------|----------|------------|----------|------|--------|-------|
| 0080 | | 2022.08.15 | 18:42:51 | 10000019 | 1001 | L1LOC01 | 入壳 | PCNF_REL | 2022.08.30 | 20,689EA | | 16,396 | 13 |
| 0090 | | 2022.08.15 | 18:43:13 | 10000020 | 1001 | L1CAW01 | 顶盖激光焊接 | PCNF_REL | 2022.08.30 | 20,606EA | | 16,078 | 416 |
| 0100 | | 2022.08.15 | 18:43:33 | 10000021 | 1001 | L1FHI01 | 前氢检 | PCNF_REL | 2022.08.30 | 20,297EA | | 16,331 | 28 |
| 0110 | | 2022.08.15 | 18:43:55 | 10000022 | 1001 | L1BAK01 | 烘箱 | PCNF_REL | 2022.08.30 | 20,297EA | | 16,354 | 0 |
| 0120 | | 2022.08.15 | 19:15:20 | 10000023 | 1001 | L1FIJ01 | 二次注液 | PCNF_REL | 2022.08.30 | 20,297EA | | 16,287 | 92 |
| 0130 | | 2022.08.15 | 19:22:09 | 10000024 | 1001 | L1FIP01 | 插化成钉1 | PCNF_REL | 2022.08.30 | 19,992EA | | 15,477 | 907 |
| 0140 | | 2022.08.15 | 19:22:28 | 10000025 | 1001 | L1FSC01 | 高温静置1 | PCNF_REL | 2022.08.31 | 19,992EA | | 16,345 | 0 |
| 0150 | | 2022.08.16 | 21:33:23 | 10000026 | 1001 | L1FPP01 | 拔化成钉1 | PCNF_REL | 2022.08.31 | 19,992EA | | 16,345 | 0 |
| 0160 | | 2022.08.16 | 21:38:33 | 10000027 | 1001 | L1FOR01 | 化成 | PCNF_REL | 2022.08.31 | 19,992EA | | 16,343 | 2 |
| 0170 | | 2022.08.16 | 21:45:51 | 10000107 | 1001 | L1SIP01 | 插化成钉2 | PCNF_REL | 2022.08.31 | 19,892EA | | 16,328 | 1 |
| 0180 | | 2022.08.16 | 21:51:01 | 10000025 | 1001 | L1SSC01 | 高温静置2 | PCNF_REL | 2022.09.01 | 19,892EA | | 16,343 | 0 |
| 0190 | | 2022.08.18 | 00:01:56 | 10000108 | 1001 | L1SPP01 | 拔化成钉2 | PCNF_REL | 2022.09.01 | 19,892EA | | 16,344 | 1 |
| 0200 | | 2022.08.18 | 00:07:06 | 10000109 | 1001 | L1SIJ01 | 二次注液 | PCNF_REL | 2022.09.01 | 19,892EA | | 16,191 | 153 |
| 0210 | | 2022.08.18 | 00:07:50 | 10000028 | 1001 | L1SPW01 | 密封钉激光焊接 | PCNF_REL | 2022.09.01 | 19,793EA | | 16,053 | 310 |
| 0220 | | 2022.08.18 | 00:08:09 | 10000029 | 1001 | L1RHI01 | 后氢检 | PCNF_REL | 2022.09.01 | 19,674EA | | 16,331 | 13 |

图 17 - 工序产出计划自动调整

2) 根据电芯生产计划自动派生极片工单、原料请购和采购订单，实施差异化的生产策略。



图 18 - 计划订单转化为生产订单

4.1.2 PACK 车间智能排产

(1) 存在问题

电芯注液、化成分容与 PACK 装配工序各自独立进行排产，计划变更时无法实现自动联动。这导致工序等待浪费现象严重，例如电芯分容未完成时，PACK 线便会出现停工待料的情况，严重影响生产效率和连续性。

目前主要依赖 Excel 进行排产，这种方式难以实时响应订单插单、设备异常或物料短缺等突发状况。紧急订单的平均响应时间长，无法满足市场快速变化和客户紧急需求的要求。

在排产过程中，未充分考虑电芯-电池包配比逻辑，例如梯次利用电芯的兼容性问题；也未对换线时间进行有效规划，不同型号 PACK 切换时间长，导致产线利用率低下。

(2) 场景描述

当前 **PACK** 车间面临的生产计划与执行脱节问题，本质上是传统排产模式难以适应锂电池制造的多变性和复杂性。工序间的信息孤岛导致生产节奏失调，人工排产的滞后性无法匹配市场需求的快速变化，而电芯特性与产线能力的匹配缺失更造成了资源利用率的持续低下。这一现状亟需通过智能化手段重构排产逻辑，建立贯穿电芯处理到 **PACK** 组装的全局协同机制，在确保订单交付的前提下，实现设备、物料与工艺约束的最优平衡。未来的解决方案需要突破工序壁垒，构建具备实时感知、动态决策和自优化能力的智能排产体系，从而将离散的生产环节转化为连续的价值流。

（3）解决方案

第一步系统架构升级

通过构建“**APS+MES+ERP**”三级排产引擎，实现各系统的高效协同。**ERP** 系统提供销售订单和主计划信息，**MES** 系统实时反馈设备 **OEE**、良率、在制品等数据，**WMS** 系统则提供物料齐套信息。这些数据共同输入到 **APS** 智能排产中枢，经 **APS** 优化处理后，输出电芯分容优先级优化、**PACK** 装配动态序列以及工序协同指令等结果，指导 **MES** 执行层进行生产操作。当出现异常情况时，**MES** 执行层及时发出告警，触发 **APS** 重新排产，形成闭环控制，确保生产计划的准确性和可行性。

第二步 **APS** 核心功能设计

多维度约束库：固化锂电行业特有约束，包括电芯分容时间的波动范围（48-72 小时）、PACK 型号切换的换线损失以及梯次利用电芯容量配比规则等，确保排产计划符合实际生产条件和工艺要求。

实时滚动排程：APS 系统每 15 分钟接收一次 MES 设备状态和 WMS 库存变动信息，据此动态调整电芯分容槽位分配与 PACK 线供料节奏。在紧急插单时，能自动抢占低优先级工单产能，快速响应市场变化和客户需求。

智能平衡算法：基于强化学习算法优化多目标，综合考虑交付准时率（权重 0.4）、设备利用率（权重 0.3）、换线次数（权重 0.2）以及电芯-PACK 匹配度（权重 0.1）等因素，实现生产资源的合理调配和生产过程的智能优化。

该方案的应用场景可以参考以下案例：

在某公司的电池 PACK 车间，自动化生产线与智能排产系统紧密配合。MES 系统首先接收来自 ERP 的销售订单信息，生成生产工单，并综合考虑生产能力、设备状态、物料齐套等因素，进行智能排产。系统合理分配有限的设备和生产资源，制定详细的排产计划，生成可视化工具，便于管理人员直观了解生产进度与任务分配。智能排产系统与自动化生产线协同工作，自动调整生产线参数和设备配置，确保电芯上料、支架粘贴、电焊、检测等工序的顺利进行。系统还能实时采集和分析

生产数据，及时处理异常。排产系统与自动化生产线的协同，不仅提升了生产效率，还确保了产品质量和性能的一致性。排产结果同步至 ERP 系统，实时更新车间生产计划，提高了生产过程的灵活性和响应速度。

该系统采用的关键技术如下：

1) 生产订单由 ERP 自动推送至 MES 系统中，计划人员在 MES 系统中基于工作日历、工艺路线、资源档案、设备维护计划、产能产量等基础信息进行排产，形成生产工单排程列表。各班组当班期间内保存了班组核算数据后，MES 系统自动按照预先排产的生产工单下发至对应的车间/产线/工序进行生产。



图 19 - 工单排程甘特图

2) 系统设定了工单超期预警任务计划，每小时将进度异常情况通过企业微信群消息推送，工单进度预警情况包括了实际进度、理论进度等描述，支持生产延时的自动预警。并支持手

工排产的方式对班次计划进行干预调整。生产计划员管控车间依据工单开始，工单超期预警看板，WIP 监控对每个工序的日投入量、目标 OEE、目标 PPM 达成情况进行监控。MES 系统根据实际进度调整班次计划。



图 20 - 计划执行预警及报警

4.1.3 电池原料资源动态配置

(1) 存在问题

难以及时对接 OEM 厂商下发的装机需求计划，实现与原料供应商（如锂盐、电解液、铜箔等）及 PACK 车间的协同响应存在障碍；制造资源（如产线工人、关键设备、原材料等）分布与状态数据更新不及时，导致资源调度不精准，综合利用率偏低，制约整体制造执行效率。

(2) 场景描述

当前电池原料资源配置面临的核心矛盾在于：上游供应波动与下游需求变化难以形成动态平衡，传统刚性调度模式无法

适应多变的制造环境。原料供给与生产需求之间存在“信息时差”，关键资源状态更新滞后导致决策依据失真，各环节的孤岛式管理更放大了资源错配风险。这一现状亟需构建具备实时感知、智能决策和动态优化能力的资源配置体系，通过数字主线打通从供应商到生产车间的数据链条，在确保交付的前提下实现资源利用率的最大化。

（3）解决方案

借助 SAP、SRM、PLM、MES 等系统在储能制造体系中的深度集成，打通从生产计划制定到材料采购、电芯装配、库存管理及市场交付的全流程，实现关键业务环节的高效协同。

第一步对生产过程多目标优化建模，设定最大化资源利用率：提高金属回收率（如锂镍钴锰回收率>98%）及最小化综合成本包括能耗成本（电价分时优化）、辅料成本、设备折旧，并开发资源配置混合优化算法应用 MATLAB/Simulink 流程仿真、PyTorch 强化学习框架。

第二步实时资源调度与自适应控制，接入电网分时电价信号，在低谷时段（如 23:00-7:00）自动提升电解工序负荷，当实时电价>阈值时，启用厂区储能电池供电。设备维护协同基于设备健康预测（振动分析+温度趋势），在低订单时段安排预防性维护突发故障时，自动将任务分流至冗余生产线。

第三步跨工序联动优化，前后工序协同缓冲库智能管理动

态调节缓存量，实现柔性生产。

第四步持续迭代与知识沉淀，每周对比实际金属回收率与模型预测值，修正反应动力学参数将设备异常（如过滤器堵塞）的处理方案存入知识图谱当相似传感器模式再现时，自动推送处置预案。

该方案的应用场景可以参考以下案例：

某企业通过引入 MES 系统，实现电池 PACK 智能组装车间的资源动态配置。MES 系统首先接收来自上层计划系统（SAP）的生产计划，这些计划基于销售订单、库存需求预测或长期生产计划，明确了产品类型、数量及交货日期。接下来，MES 系统的派工模块分析生产计划，结合车间实时数据（如设备状态、人员可用性、物料齐套情况等），进行智能派工决策，确保生产资源的合理利用。MES 系统生成的派工指令通过车间信息系统下达给生产人员或设备，详细说明生产任务的要求，并持续监控生产进度、设备状态及质量检测结果。系统能够及时发现并处理生产中的异常情况，如生产瓶颈或质量问题，调整派工策略并重新分配资源，确保生产顺利进行。此外，MES 系统支持灵活的生产调度，根据实际情况调整派工指令，提高生产效率和响应速度。资源动态配置避免了资源的闲置和浪费。

该系统采用的关键技术如下：

1) 原料采购协同：基于上层需求拆解而产生的原料需求

(MRP)，通过 SAP 和 SRM 系统的集成，采购和物料计划员确认后，可直接把该需求（采购订单）下发给指定供应商，供应商在拿到采购订单后，在要求的到货日期时，安排交货并提前通知，实物到达后，由质检部门在 QMS 中完成检验，若质检合格，则收货完成并通知供应商可做对账和开票。



图 21 - 电池原料采购协同

2) 生产车间协同:基于上层需求拆解而产生的生产需求(MRP),计划员可根据实际产能安排生产，生产现场根据生产计划及产线现场的安全库存策略在 MES 中对原材料仓库发起叫料，原料仓库在收到叫料需求后，提前拣货备料，并将原料按照叫料要量转运到产线的需求点位，产线收到实物时需要在 MES 内做收料确认，完成对原料叫料、发料和收料的闭环，产线的报工结果实时从 MES 中收集并回传给 SAP 记账，产成品下仓后，向仓库下发成品下仓指令，仓库接收成品后完成货物交接的闭环。

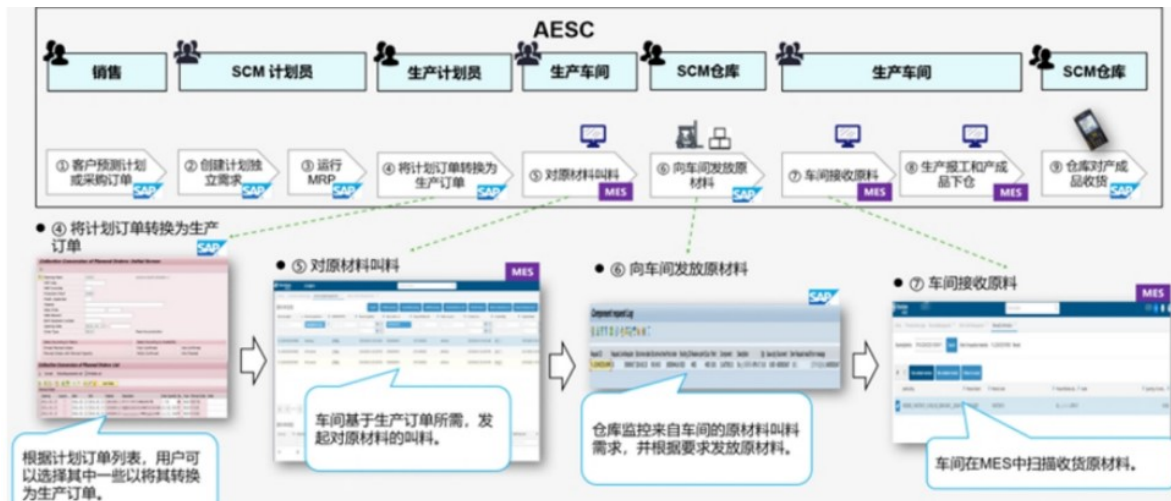


图 22 - 工生产车间原料协同

3) 同时在创建生产订单时系统会自动做 ATP 可用性检查, 来确定该订单所要的原材料是否有缺料, 并提供报警, 能让业务提前知晓并做相应地调整。

The screenshot shows a '物料历史需求消耗变异分析' (Material Historical Demand Consumption Variance Analysis) interface. It includes filters for '物料类别' (Material Category), '工厂代码' (Plant Code), '物料' (Material), and '消耗日期' (Consumption Date). The main table displays consumption data for various materials across different time periods and inventory levels.

| 工厂代码 | 物料 | Inventory | 过去7天平均消耗 | 过去3天平均消耗 | 7天CV | 3天CV | D3 35-max | D7 35-max | D3-35-DOS/天 | D7-35-DOS/天 | 最小库存天数 | 最大库存天数 | MIN-MAX预警策略 |
|------|------------|-----------|----------|----------|------|------|-----------|-----------|-------------|-------------|--------|--------|-------------|
| 1001 | 11AAM00021 | 50,771.00 | 3,052 | 3,032.07 | 0.05 | 0.05 | 3,475.50 | 3,496.42 | 15 | 15 | 8 | 14 | 库存过大, 需要降低 |
| 1001 | 11AAM00010 | 31,920.00 | 1,671 | 1,500.00 | 0.06 | 0.07 | 1,804.60 | 1,968.58 | 18 | 17 | 8 | 14 | 库存过大, 需要降低 |
| 1001 | 11ACF00141 | 29,670.00 | 702 | 1,405.20 | 0.27 | 0.13 | 1,956.31 | 1,264.28 | 16 | 24 | 4 | 14 | 库存过大, 需要降低 |
| 1001 | 11BSA00004 | 18,400.00 | 1,024 | 1,326.67 | 0.09 | 0.07 | 1,611.95 | 1,309.76 | 12 | 15 | 5 | 14 | 库存范围内, 合理 |
| 1001 | 11AAM00011 | 11,700.00 | 1,147 | 1,171.56 | 0.09 | 0.09 | 1,478.12 | 1,460.47 | 8 | 9 | 8 | 14 | 库存过低, 加快到货 |
| 1001 | 11ACF00195 | 5,990.50 | 260 | 361.77 | 0.45 | 0.30 | 688.66 | 611.98 | 9 | 10 | 4 | 14 | 库存范围内, 合理 |
| 1001 | 11BPC00002 | 5,580.00 | 231 | 206.05 | 0.03 | 0.03 | 225.32 | 252.40 | 25 | 23 | 7 | 14 | 库存过大, 需要降低 |
| 1001 | 11ACF00228 | 4,506.80 | 629 | 606.62 | 0.18 | 0.17 | 918.59 | 978.06 | 5 | 5 | 4 | 14 | 库存范围内, 合理 |
| 1001 | 11BSA00003 | 4,000.00 | 346 | 416.67 | 0.02 | 0.02 | 439.86 | 369.90 | 10 | 11 | 5 | 14 | 库存范围内, 合理 |

图 23 - 物料消耗分析

4) 根据 BOM 和原材料的计划相关主数据如采购提前期/ 交货频次等, 结合高阶动态安全库存算法, 运行 MRP 产生原材料的采购需求, 并且结合工艺路线中组件工序分配模型使原材料的计划 度到达工序级别。

| 计划订单 | 描述 | 需求日期 | 请求元素 | 请求元素编号 | 数量 | 收货/需求数量 | 基 | 收货日期 | 接受... | 接收方... | 备注 | 错误的信息 |
|------------|-------------------------|------------|--------|--------|----|-----------|----|------------|-------|--------|----|----------------------|
| 0000602459 | 正极材料/LFP/名称CW12 | 2022.10.24 | DepReq | 202670 | 1 | 6,540.226 | KG | | | | | |
| 11CAM00040 | 正极材料/LFP/名称CW12 | 2022.10.24 | DepReq | 202670 | 1 | 6,540.226 | KG | | | | | |
| 11BPC00002 | 电芯正极材料/PVDF正极粘结剂/名称P... | 2022.10.24 | DepReq | 202670 | 2 | 148.160 | KG | | | | | |
| 11CCM00001 | 电芯导电剂/炭黑/名称SP-01 | 2022.10.24 | DepReq | 202670 | 3 | 47.138 | KG | | | | | |
| 11CNS00001 | 电芯导电剂/名称NMP-01 | 2022.10.24 | DepReq | 202670 | 4 | 238.912 | KG | 2022.11.14 | | 602675 | 10 | 重新计划在...内 (22.10.17) |

图 24 - 物料需求计划

4.1.4 电池原料智能仓储

(1) 存在问题

传统电化学储能制造企业的仓储管理仍高度依赖人工操作，效率低下，出错率高；缺乏统一的信息化管理系统，导致关键材料（如正负极材料、电解液、隔膜等）及成品在入库、出库、查找、盘点等环节操作复杂、效率低；库存数据准确性偏低，信息更新滞后，人工盘点误差较大，易造成生产计划与实际库存不符，影响电芯组装或 PACK 装配的连续性；人工拣选耗时且易出错，无法适应订单数量波动，影响订单交付响应速度；同时，由于缺乏智能库存预测与补货机制，造成关键物料易发生积压或短缺，影响资金流转和整体产线效率。

(2) 场景描述

当前电池原料仓储管理面临的核心痛点在于：人工主导的

作业流程难以匹配电池制造对精度与效率的双重要求。电池原料库存数据流与生产计划系统存在“信息断层”，物料周转过程缺乏实时可视性，传统经验驱动的决策方式更导致电池工厂仓储资源配置失衡。这一现状亟需通过数字化手段重塑从电池原料入库到电池产品出库的生产链条。未来的解决方案需要突破被动响应模式，建立基于数据驱动的动态优化机制，实现仓储作业从“人找货”到“系统智能调度”的根本转变。

（3）解决方案

电池原料智能仓储场景引入行业领先的自动化立体仓库（AS/RS）模式，有效降低新工厂在原材料存储环节的基建成本，同时显著提升仓储作业的自动化与智能化水平。

首先，通过仓储位优化模型，结合混合整数规划算法，以最小化拣货路径总长度为目标，依据物料的出库频率、批次特性及体积权重，优化物料在仓位中的布局策略，实现高频物料智能排布于靠近出库口的位置，从而提升拣货效率。

其次，在统一的信息化架构支持下，借助基于强化学习的库存调度算法，实现原材料（如锂盐、电解液、隔膜等）从入库、存储到生产发料的全流程优化与智能调度。通过二维码和条形码技术，对电芯、涂布膜、电解液等原材料进行精确追踪与管理，快速响应出入库操作，有效提升库存数据的实时准确性和库存管理效率。

最后，基于贝叶斯网络的库存异常识别模型对库存记录与实时扫描数据进行比对分析，自动检测并预警因异常盘点、漏扫、批次混淆等引起的数据偏差，辅助管理人员快速定位问题源头，保障库存管理的准确性和可靠性。

该方案的应用场景可以参考以下案例：

某企业在 **PACK** 车间应用了智能仓储，涵盖电芯上料、云母布安装和模组入箱三个阶段。在电芯上料环节，**WMS** 系统根据生产计划和订单需求，智能生成领料任务，通过扫描电芯上的唯一识别码，实现快速准确的电芯定位和取料。还要实时监控库房温度和湿度，并预警异常值，防止高温高湿导致消防安全隐患。系统实时更新库存信息，确保电芯数量与生产需求一致，并保障电芯准时到达上料工位，自动记录上料信息。在云母布安装环节，**WMS** 系统提前规划云母布库存和取用策略，并根据需求指引自动化设备抓取符合规格的云母布，实时监控安装进度与质量，确保安装精度和生产稳定性。在这个过程中，实时监控安装环境的可燃气体浓度，以及云母布堆垛的稳定性，防止火灾风险。在模组入箱环节，**WMS** 系统智能生成入箱和存储任务，自动化设备按指令将模组放入箱子并完成封箱操作，生成唯一识别码记录模组信息，确保出货准确性和效率。系统对云母布的实时监控保障了生产连续性和稳定性，在模组入箱环节，提升了装箱速度和准确性，支持物流追踪和产品追溯。



图 25 - 仓储管理系统

该系统采用的关键技术如下：

- 1) 建设自动化立体仓库(AS/RS)：配备堆机、穿梭车等设备，实现原材料的自动化存储与拣选。

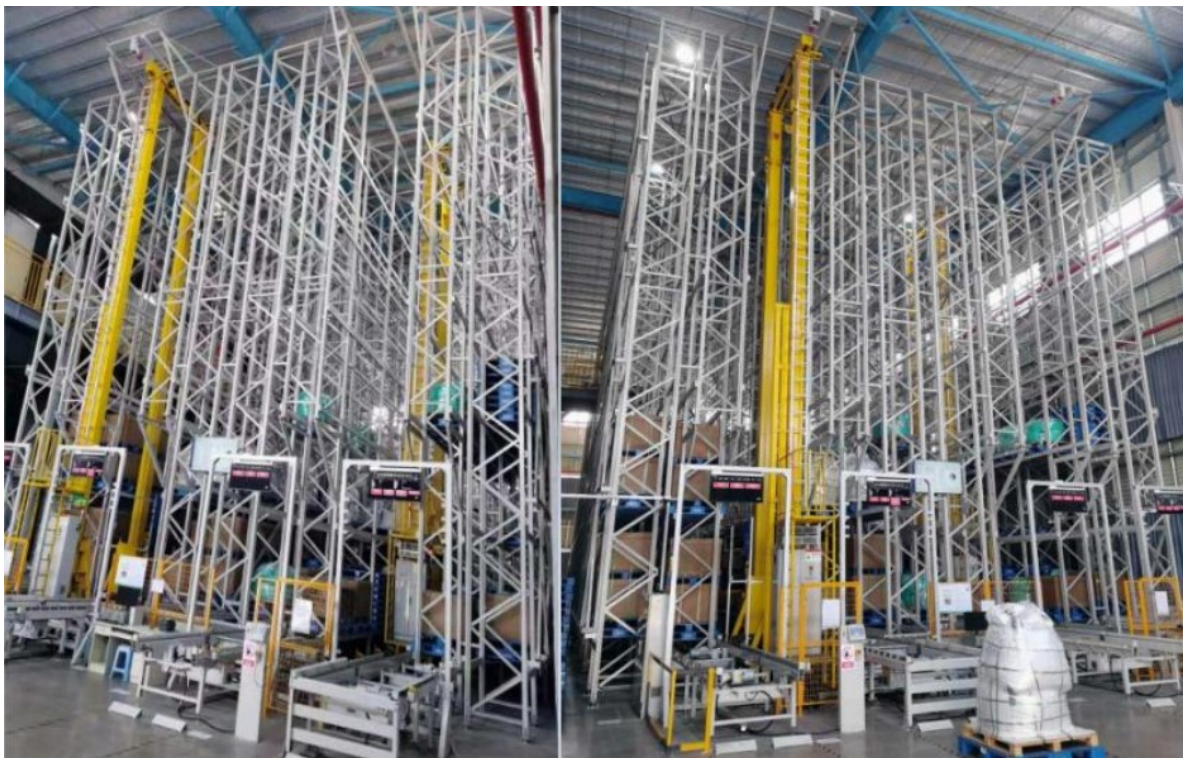


图 26 - 电池原料智能立体仓库

- 2) 智能仓储管理系统(WMS)：实时监控库存状态，支持

智能补货、批次管理、库存预警等功能，与生产计划、订单系统无缝集成。



图 27 - 智慧仓储看板

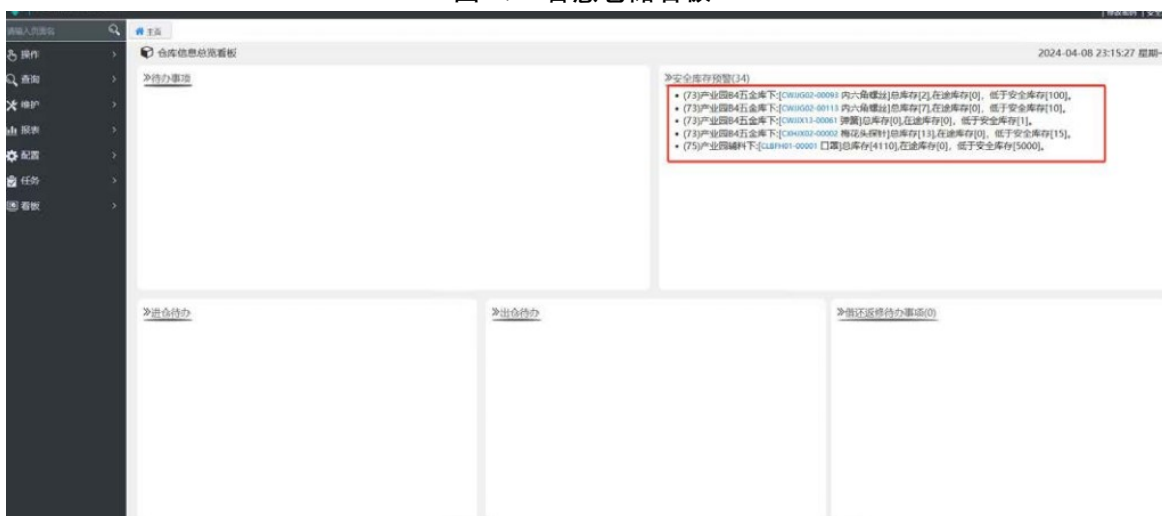


图 28 - 安全库存预警

3) 二维码/条形码技术：实现原材料的精确追踪与快速出入库操作，提高库存数据准确性。



图 29 - 原材料标签标准化

4) 智能拣选系统: 采用 Pick-to-Light Voice Picking 等技术, 提高拣选效率, 减少错误。



图 30 - 拣货单管理

5) 集成数据分析工具, 对库存周转率、设备利用率等关键指标进行深度分析, 支持决策优化。



图 31 - 仓储占用率可视化

4.1.5 电池物料精准配送

(1) 存在问题

受限于人力资源配置不足或物料配送路径规划不合理，产线各环节物料配送效率低；工序间（如涂布至辊压、化成至分容等）转运流程依赖人工搬运，劳动强度高，运营成本居高不下；物流输送线智能化程度不足，电芯或 PACK 产品在内部流转中的位置信息无法实现实时采集、定位与追溯，导致物料调度不清晰、过程监控缺失，影响整个产线的柔性协同与交付时效。

(2) 场景描述

当前电池物料配送体系面临的核心矛盾在于：传统人工配送模式难以适应电池产品多型号、小批量的生产特点，物流信息断层导致“物料黑箱现”象，工序协同效率被搬运等待时间大量吞噬。这一现状亟需构建具有实时响应能力的电池物料智

慧物流网络，通过数字化手段重塑从电池原料仓储到电池产线的流动链条。当前的解决方案需要突破单点配送的局限，建立基于全局优化的智能调度中枢，实现电池物料流转从“经验驱动”到“数据驱动”的范式转变，为电化学储能电池制造的柔性化升级提供关键物流支撑。

（3）解决方案

电池物料精准配送场景通过深度集成各系统数据，并与电梯、软连门、提升机等设备实现互联，完成跨区域、跨楼层的物料自动转运。系统构建了基于工艺节拍约束的物料调度优化模型，采用约束规划算法对物料种类、作业时间窗口及设备可达性进行建模，确保物料配送时间精准匹配产线节拍，从而提升配送效率和节拍协调性。

在车间内，激光导航技术实现物料的快速、准确自动送达，结合激光导航与磁导航的精准配合，保证物料准确上料至设备。配送路径由强化学习算法实时优化，系统根据车间拥堵状况和设备状态动态调整 AGV 路径，避免配送瓶颈和资源冲突，提升整体通行效率与负载均衡。

自动化物流控制系统引入后，实现了从注液到配组所有生产工序物流输送线的统一调配管理，能够实时监控电池在生产过程中的位置信息，支持随时查询。基于 RFID 和二维码技术，建立了位置信息实时采集机制，并利用卡尔曼滤波算法对多源

位置数据进行精度增强和轨迹预测，实现电芯在输送线上的连续状态估计与路径重构，有效支撑质量追溯和过程管控。

生产过程中，系统根据预设工艺路线图组织工序周转输送，通过扫描托盘码信息实时查询电池生产周转状态，确保电池周转完成后顺利进入 **PACK** 工序，保障生产流程的高效和透明。

该方案的应用场景可以参考以下案例：

某企业通过引入智能 **AGV** 小车实现电池 **PACK** 环节的精准配送。当 **PACK** 完成称重后，人工呼叫 **AGV** 小车，**MES** 系统下发指令，**AGV** 按照分配路径将 **PACK** 送至测试房。小车根据系统判断是否有空测试库位，若有则进入测试区，若无则进入缓存区等待测试。若 **PACK** 需要返修，**MES** 系统会发出返修指令，**AGV** 将 **PACK** 送至返修区。返修完成后，系统下发指令，**AGV** 将 **PACK** 送回测试房。

该系统采用的关键装置和技术如下：

1) 在电池生产车间部署多类型 **AGV** 智能搬运系统，实现极片、隔膜、电解液等不同特性物料的精准配送。系统通过激光导航与 **RFID** 识别技术，自动匹配电芯生产批次与工艺要求，确保涂布、分切、叠片等关键工序的物料供应准确性和时效性，满足储能电池制造对物料洁净度和一致性的严苛要求。



图 32-AGV 小车组



图 33-高式叉车 AGV 小车组

2) 当发生导航偏移、电量过低、路线拥堵等异常事件时，小车状态运营监测系统实时报警与任务动态调整，提升 AGV 运行稳定性与调度效率。



图 34-AGV 小车运营大屏

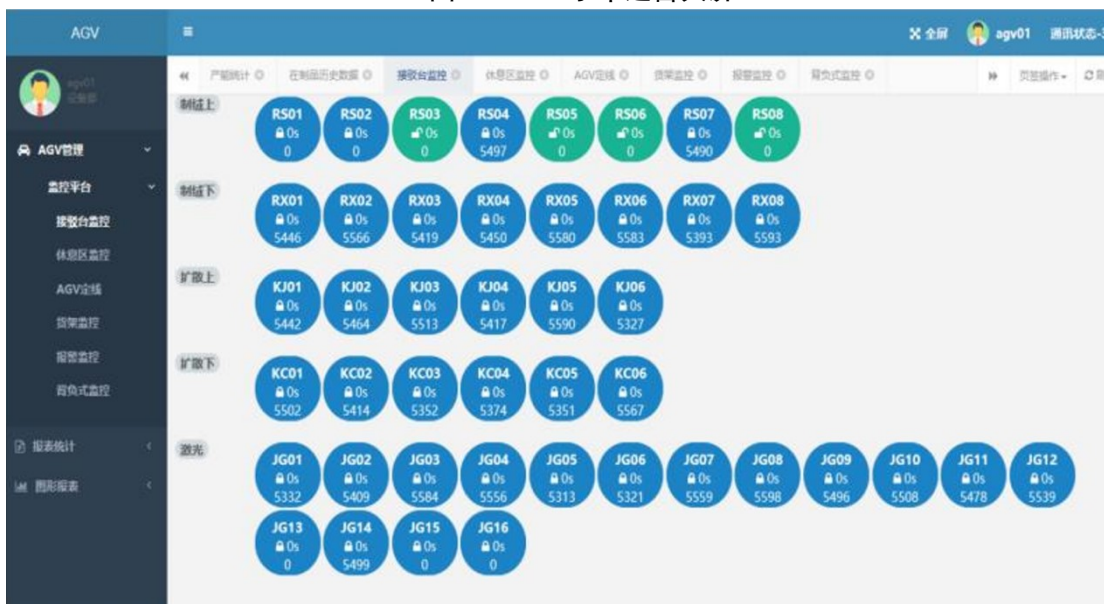


图 35-AGV 小车运营监测

3) 基于电芯生产工艺流程开发智能调度算法, 实现 AGV 系统与储能电池生产线的深度协同。系统根据注液、化成、分容等不同工序的物料需求特点, 动态优化搬运路径和任务优先级, 特别是在模组 PACK 段处理大型箱体转运时, 自动规避人员密集区域并平衡多台 AGV 工作负荷, 显著提升储能电池产线的物流效率和安全生产水平。

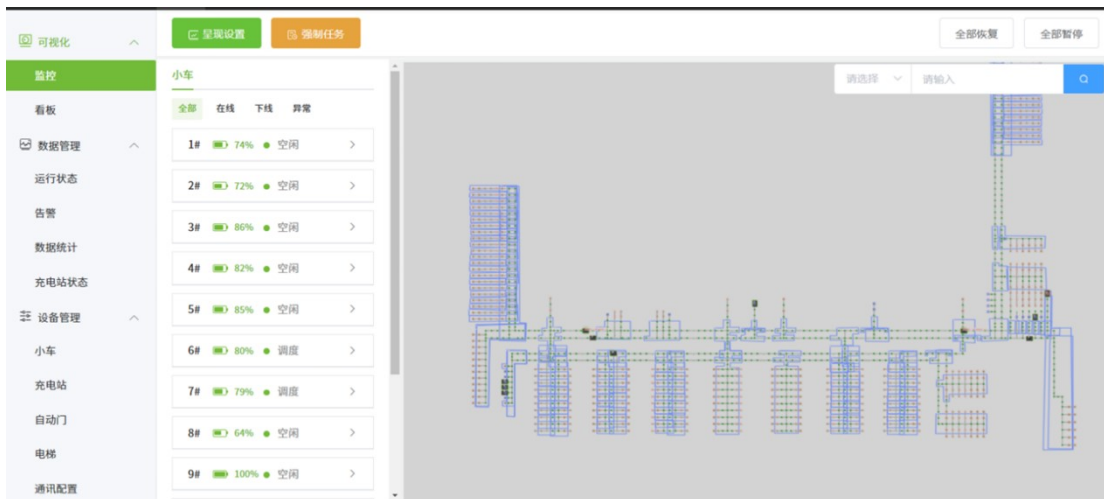


图 36-AGV 小车路径智能规划



图 37-AGV 小车作业智能调度

4.1.6 电池制造安全风险监测

(1) 存在问题

电化学储能电池制造过程中存在热失控引发火灾、有毒电解液挥发泄漏等高危风险，但现有的风险监测体系在复杂

工艺流程中难以及时识别中高风险作业区，缺乏对关键节点（如涂布、注液、化成等）的精准预警能力。人工巡检覆盖面有限，且各类产线设备数据未能有效集成，导致安全管理响应滞后。

（2）解决方案

电池制造安全风险监测场景依托边缘计算与云平台融合架构，整合产线安防设备与环境感知系统，实现储能电池制造全过程的安全信息集中监控与智能预警。通过构建基于图神经网络的多源感知数据融合模型，将温度、湿度、挥发性有机物浓度、设备振动等多维环境参数抽象为动态拓扑图，开展工艺区域间潜在风险的空间传播路径分析与异常传播预测，显著提升系统对隐性风险的识别能力。

在关键工序如涂布、叠片、注液和化成环节，部署火灾探测、挥发性有机物气体监测与自动灭火装置，增强对电解液泄漏、热失控等高风险事件的联动响应能力。基于 AI 算法，构建储能行业典型高危场景的预测模型，融合历史事故案例与实时工况参数，动态评估风险等级并及时输出预警信号，确保风险防控的前瞻性和有效性。

通过统一平台下达报警与处置指令，实现“秒级”快速响应，联动系统支持标准化 API 和多平台协议接口，打通储能电池制造环节多系统数据流，提升跨系统协同响应效率，保障生

产安全和稳定运行。

(3) 应用场景

某电化学储能企业搭建了基于云平台的一体化安全监控系统，将关键制造工艺设备与厂区安防子系统实现深度联网，融合 AI 算法与大数据分析能力，实现对热失控、电解液泄漏、气体挥发等典型电池制造风险的提前感知与主动干预。该系统已在集团多个储能电池生产基地落地应用，形成了以下 6 项关键能力：

a.在涂布、叠片、注液、化成等高风险工序部署红外摄像头、多参数环境传感器和智能监控设备，实时采集温湿度、压力、电解液泄漏浓度等核心指标，对异常状态触发本地与云端同步报警，引导现场人员快速响应。

b.利用大数据处理技术对多源环境监测数据进行清洗、融合与特征提取，为精确风险建模与动态预警提供数据支撑。

c.建立区域级安全风险预测模型，基于时序数据趋势识别电池制造过程中的潜在失控征兆，及时预警并推送整改通知至属地管理人员，实现风险前置管理。

d.结合历史报警与事故案例开展事件溯源分析，查明触发机制，构建安全事件闭环管理体系，提升系统性改进能力。

e.打造统一移动端应用平台，将风险等级、AI 模型输出和实时预警信息推送至操作人员移动设备，并联动消防喷淋系统、

排烟设备及应急指挥模块，实现远程干预与即时处置。

f.引入数字孪生技术，构建电池制造流程的三维虚拟仿真模型，模拟热失控蔓延、电解液喷溅和气体泄漏等事故场景，在实时监测和历史数据驱动下持续优化仿真精度，实现“事前演练、事中辅助、事后复盘”闭环管理机制，有效指导应急预案制定与工艺优化，并通过数字化演练提升整体安全响应能力。

4.1.7 电池制造安全风险处置

(1) 存在问题

电化学储能电池制造环节一旦发生热失控、气体泄漏等突发事件，多数企业仍依赖人工干预和被动响应，缺乏智能化、自动化的应急联动处置体系。灭火、防爆、排气、紧急停机等装置布局分散、联动性弱，部分高风险区域（如注液间、化成车间）应急预案更新滞后、演练频次不足，导致事故发生时处置不及时、指挥协调效率低下，增加了事故扩大的风险和安全管理负担。

(2) 场景描述

针对电化学储能电池生产管理环节的安全风险防控需求，本场景聚焦电池制造智能应急联动处置，重点解决热失控、气体泄漏等突发事件下人工响应滞后、设备联动低效等痛点。通过集成多模态传感网络（温度/烟雾/VOC）、边缘计算单元与自动化处置终端（灭火喷淋、防爆风机、急停装置），实现从

风险早期识别到精准处置的全流程智能化管控。

（3）解决方案

电池制造安全风险处置场景需要建立基于边缘智能与集中控制融合的应急响应系统。在涂布、注液、化成等关键工序区，部署自动灭火、应急排风、防爆切断等一体化快速联动装置，实现对热失控、气体泄漏等异常状态的即时隔离与事故扩散阻断。系统结合 AI 视觉识别算法与多传感器融合技术，智能检测烟雾、明火及有毒气体浓度变化，自动触发分级应急预案，并将指令及时推送至应急指挥平台。

通过工艺参数的实时监控与历史事故案例的关联分析，动态生成处置指令和疏散路径，提升应急反应的智能化和自动化水平。同时，构建标准化应急演练模块，针对不同工艺场景开展事故推演演练，增强人员的熟练度与事故处置能力，实现储能电池制造全过程安全风险的“早识别、快处置、控蔓延”。

该方案的应用场景可以参考以下案例：

某电化学储能企业在电池制造基地部署了智能应急联动系统，聚焦涂布、注液、化成等高危环节的事故快速响应与处置，形成了以下 3 个应用实践：**a.**在关键产线节点集成多参数复合传感器（温度、烟雾、气体浓度）与边缘 AI 处理单元，实时捕捉热失控、电解液泄漏等早期异常信号，并自动联动应急切断、局部灭火、排风换气等系统，缩短事故反应时间至秒级；**b.**

基于工艺过程特征与事故案例库构建智能处置决策引擎，按风险等级推送相应应急预案至属地操作终端和应急指挥中心，指导人员科学应对事故；c.应用移动端应急管理 APP，将实时报警、处置指令与人员定位信息集成展示，支持远程调度、快速疏散与事后复盘，极大提升了电池制造全流程的事故防控与快速处置能力。

该系统采用的关键装置和技术如下：

1)智能消防货架系统配备独立烟感探测器和精准喷淋装置，当检测到储能电池货架局部温度异常或烟雾浓度超标时，系统可自动定位火源位置，并启动对应区域的定向喷淋灭火，避免传统全仓喷淋造成的二次损害。喷淋系统采用特种灭火剂，可有效扑灭锂电池火灾的同时最大限度降低对周边完好电池的影响。



图 38 - 自动定位射流灭火系统

2) 安全隔离货架系统集成烟感探测器与 AGV 智能处理装置, 当货架监测到某储能电池模组出现热失控征兆时, 系统立即触发应急协议, 调度 AGV 提升机精准定位问题电池位置, 通过机械臂抓取装置将异常电池转移至专用隔离舱。隔离舱采用耐火隔热设计, 内置温度控制系统, 可有效控制热扩散, 为后续专业处理争取时间。

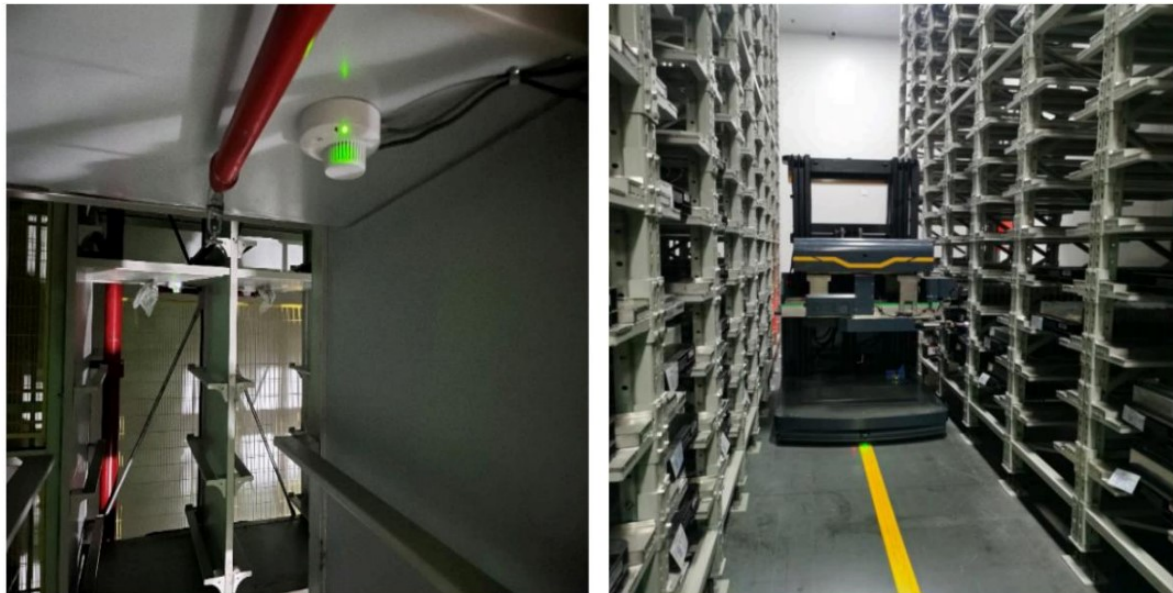


图 39 - 烟感联动 AGV 小车应急处置

2) 自动化灭火仓储系统通过多维度传感网络(温感、烟感、红外热成像)实时监控立体货架中储能电池的状态。当电芯在静置期发生内短路等异常时, 系统通过红外扫描快速定位发热源, 智能物流设备立即将问题电池移送至特制消防水箱。水箱采用循环冷却液设计和防爆结构, 既能快速降温又避免电池在水中短路引发的二次危险。

4.1.8 焊接环节危险作业自动化

(1) 存在问题

在电化学储能电池模组和 Pack 装配环节，激光焊接是高频应用工艺，但其伴随强辐射、高温熔接与电芯短路隐患，极易引发局部燃烧或人员伤害。目前部分工位尚未实现全面自动化，缺乏对焊接温度、电流波动的实时闭环监测机制，火灾报警与应急处置联动不足，急需提升焊接作业的智能防护能力。

(2) 场景描述

储能电池智能焊接安全管控场景聚焦电化学储能电池模组/Pack 制造中的激光焊接工艺，针对强辐射、高温飞溅、电芯短路等特有风险，构建“机器人作业+智能监测+主动防护”的一体化安全体系。该场景依托高精度工业机器人替代人工焊接，结合多模态传感网络（红外热成像、电流波动监测、烟感探测）与 AI 实时分析，实现焊接过程的全流程安全管控。

(3) 解决方案

焊接环节危险作业自动化场景在储能模组与电池包装配过程中，广泛应用高精度工业机器人及柔性自动化物流系统，替代高风险的人工激光焊接作业。这不仅提升了焊接质量的一致性，也有效降低了焊接热源辐射及短路引发燃烧的风险。

系统引入基于深度强化学习的焊接路径与工艺参数自适应优化模型，机器人通过持续交互学习，能够实时调整激光功率、焊接速度及轨迹偏移补偿，实现高精度焊缝质量控制和工艺自修正，确保焊接过程的精准与稳定。

焊接工位配备高灵敏烟感传感器、温升监测器及自动灭火系统，构建主动安全防护机制。通过多传感器融合算法，对温度、烟雾浓度、电流、电压等多维特征进行综合计算，构建时间—状态联合监控模型。结合支持向量机分类模型训练的异常识别算法，实现焊接过程中的毫秒级故障预测与分类报警响应，快速识别异常温度和烟雾，并及时联动处置，进一步保障高功率焊接环境的安全可控。

该方案的应用场景可以参考以下案例：

某储能制造企业基于激光焊接技术与工业视觉系统，对模组和 **Pack** 装配流程实施了全流程自动化升级改造，消除高功率焊接作业中的人身风险与质量隐患，并已在多个储能生产基地复制推广，形成了 2 个关键应用：**a.**实现锂电模组自动化装配，通过高分辨率 2D 视觉引导系统与精密自动工装协同控制，实现电芯精准定位与模块化拼装，并完成高效光纤激光焊接，显著提升操作稳定性和制程良率。**b.**自主开发焊接过程在线检测系统，融合 2D/3D 工业视觉技术对焊接间隙、焊缝宽度、深度等关键参数进行实时测量与动态修正，有效规避虚焊、漏焊等

批量性质量问题，提升焊接一致性与产品安全等级。

该系统采用的关键技术为 WDD 焊接工艺，通过自主检测算法和缺陷诊断算法分析信号实现焊中实时检测功能，实时采集测量值，将获取到的测量值与预设评估基准作对比，确保焊接过程工艺稳定性。通过深度学习和数据挖掘技术，利用工艺专家算法智能推荐最优工艺参数，实现工艺参数的自动优化与动态调整，确保焊接过程始终保持在最佳状态。

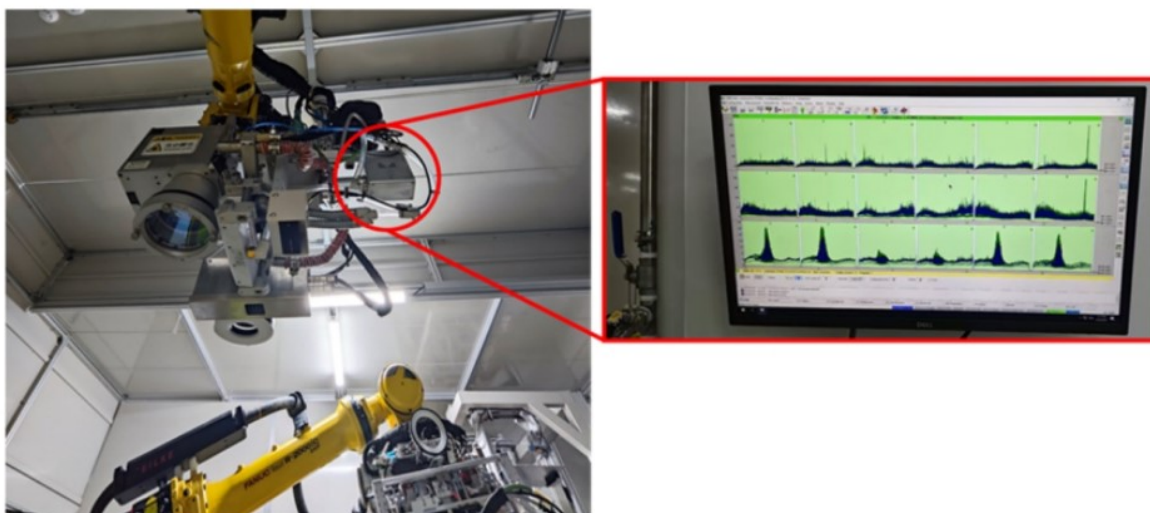


图 40 - WDD 焊接工艺

4.1.9 老化设备维护管理

(1) 存在问题

部分企业在生产设备的维护管理方面存在薄弱环节，设备老化、维护不及时等问题普遍存在。关键设备如涂布机、辊压机等一旦发生故障，可能导致生产中断甚至引发安全事故。然而，当前多数企业缺乏系统的设备维护计划和故障预警机制，难以及时发现和排除潜在的安全隐患。

（2）解决方案

老化设备维护管理建设基于工业互联网架构的设备健康管理系统。第一步，通过部署振动监测、温升监测、电气故障监测等智能传感器，实时采集老化柜、老化电源及配套辅助设备的运行状态数据。第二步，结合大数据分析 with AI 故障预测模型，实现老化设备维护模式由传统的“事后维修”向“预测性维护”转变，有效减少非计划停机时间。

系统根据设备健康指数自动生成维护计划与备件预警，确保维护工作的及时开展和备件的充足供应，从而提升维护效率与设备可用性。针对电池连接器、老化电源模块等故障频发的关键节点，设立在线诊断机制和冗余保护措施，强化故障检测与保护能力，显著提升整体老化产线的稳定性和安全性。

同时，建立设备全生命周期管理档案，详实记录设备使用、维护、故障及改造等全过程数据，为老化设备的智能决策和持续优化提供坚实的数据支撑。通过上述措施，确保电池老化过程安全、可控与高效运行。

（3）应用场景

某储能制造企业针对电池老化车间设备故障率高、维护反应慢的问题，构建了基于工业互联网平台的设备智能运维体系，已在多个生产基地推广应用，并形成了 3 个典型实践：**a.**在老化柜、老化电源及辅助设施上部署温度、振动、电气异常监测

传感器，通过边缘计算实现设备运行状态的实时采集与异常分析，提前识别潜在故障风险；b.引入机器学习算法，根据设备历史运维数据训练健康度评估模型，自动预测设备剩余使用寿命与故障概率，动态生成维修计划与备件需求预测，显著降低了非计划停机率；c.搭建设备全生命周期管理系统，对老化设备的采购、安装、运维、退役全过程进行数字化记录和智能分析，为设备更新决策与产线优化提供数据支撑，确保储能电池老化环节的安全、高效运行。

4.1.10 储能系统信息安全建设

(1) 存在问题

电化学储能系统在集群控制、远程运维和能量调度过程中涉及大量核心数据，包括电芯级别 SOH/SOC 状态、EMS 控制策略和用户负荷曲线等，需通过分层加密、端到端传输保护、访问权限细化等手段构建防护体系，防止黑客攻击与数据篡改。在面向云平台或国际电力市场的数据出口环节，必须严格遵循国家《数据出境安全评估办法》及 GDPR 等国际标准，确保跨境数据交换的合法性和系统运行的网络安全性。

(2) 解决方案

针对电化学储能系统中涉及的电池簇级别运行数据、EMS 控制策略、BMS 状态参数和用户负荷信息等敏感数据，采用 AES-256 等高强度加密算法，实现数据在存储、传输及云端调

用全过程的加密保护，确保数据安全性。

首先，构建多因子身份验证机制和细粒度权限控制体系，严格限定敏感数据的访问权限，有效防止越权操作和内部泄露。

其次，依据国家《数据出境安全评估办法》及国际 GDPR 等国际协议，建立跨境数据传输的合法合规框架，保障全球业务场景下的数据安全和合规运行。

同时，实行数据分级分类管理制度，根据数据敏感性采取分层保护策略，并引入智能行为分析与日志审计系统，实时监控数据访问行为，自动识别并拦截异常操作。

最后，系统定期生成访问记录与合规审计报告，强化储能系统全生命周期的数据安全管控，确保整体数据安全防护体系的有效运行。

（3）应用场景

某企业在其自主研发的液冷型电化学储能系统解决方案中，构建了覆盖“电芯—簇—电站”全链条的安全与数据智能体系，为储能行业数字化与智能化转型提供了标杆实践，并已在多个储能生产基地复制推广，形成了 3 个关键应用：**a.**系统在电池簇层级集成一致性管理机制、单体绝缘检测技术和主控故障闭环保护功能，实现储能电池在热、电、化等多维风险上的全方位防控，大幅提升电站运行的稳定性与本质安全水平。**b.**通过全生命周期管理体系与云边端融合架构，系统可对 BMS、EMS

和 PCS 的运行数据进行精准采集、分析与策略优化，支持远程运维与分布式协同调度，显著提升储能资产的运行效率与数据管控能力。c.企业在平台设计阶段即全面纳入国家数据出境规定与国际数据安全法规（如 GDPR）的要求，构建跨境数据处理合规机制，确保储能系统在全球市场环境下的数据安全性与合法性。

4.1.11 废气废水污染监测与管控

（1）存在问题

电化学储能企业在电芯涂布、极片干燥、电解液注入等关键工艺环节易产生有机废气和含氟废水，但当前多数企业环保监测系统独立运行，废气废水排放状态难以实现跨系统实时掌握。一旦废气治理设备（如 RTO、活性炭吸附装置）或废水处理装置发生故障，缺乏即时报警和闭环联动机制，导致超标排放难以及时处置。同时，环保子系统间缺乏统一数据接口，形成监测信息“数据孤岛”，制约污染源全流程动态监管与智能化治理能力，严重影响排放合规管理的效率与响应速度。

（2）解决方案

将废气废水污染监测与管控场景中极片涂布、电芯干燥、电解液注入等关键工序所配套的工业污水处理站和废气净化装置的工艺运行参数、关键阀门状态、能耗指标（如用水用电）

等接入统一监测系统,结合 VOCs 在线监测与氟化物浓度监测,构建完善的环境治理数据采集平台。

首先,引入多变量时间序列异常检测模型,基于 LSTM-AutoEncoder 的预测-重构机制,对处理设备在正常运行条件下的各类指标数据进行建模。系统实时对比当前运行数据的残差分布,识别可能存在的非线性异常趋势,提前发出维护预警信号,实现对治理设施运行状态、处理效率及异常故障的实时分析与远程管控。

其次,系统集成废水排口的在线监测仪表和废气处理设备(如 RTO 系统、吸附塔等)的运行监控模块,实现排放浓度、流速、排放总量的动态采集和异常报警,确保废水废气处理达标后排放。

最终,通过上述措施,提升对污染物排放的精细化管理能力和应急响应效率,保障电化学储能企业关键工序的环境合规及可持续运行。

(3) 应用场景

某电化学储能企业上线污染监测系统,覆盖极片涂布、电解液注液及废气净化等重点环节。系统融合多点传感器采集与 AI 数据建模分析,可自动识别 VOCs 和含氟废气的异常排放行为,实时调节工艺参数,确保排放稳定达标,大幅减少突发污染事件,实现了以下 4 种应用: a.搭建覆盖涂布废气处理和电

芯湿法清洗废水的环保管理平台,结合智能传感与大数据技术,提升电化学储能行业污染治理的自动化与精细化水平。b.实现废气 VOCs、颗粒物、氟化物和废水 pH、COD、重金属等关键指标的实时在线监测,异常数据自动反馈至后台与运维终端,及时触发应急响应。c.通过数据接口与生态环境部门联网,完成污染物排放的全过程监控、分析和合规报送,满足地方监管对储能企业的环境管理要求。d.在尾气处理系统中接入传感器监测吸附效率与净化状态,支持实时数据回传与毫秒级报警,保障含电解质尾气处理过程的安全与稳定运行。

4.1.12 储能碳资产管理

(1) 存在问题

电化学储能企业当前普遍采用传统碳排放核算方式,依赖人工填报与离线统计,难以精确反映储能电站在不同运行策略(如调峰调频、削峰填谷)下的动态碳排强度。由于数据更新滞后、分项核算能力不足,企业难以系统性评估自身的减排潜力,也缺乏与碳交易、绿证机制接轨的量化支撑工具,限制了在全国碳市场与绿色电力交易市场中的参与深度与适应能力,亟需建立基于实时运行数据的数字化碳资产监测、评估与优化机制。企业在生产过程碳足迹管理上存在碳排放数据采集颗粒度粗、工序级能耗与排放无法有效分解、生产全流程碳核算模型缺失等问题,导致生产环节碳排放无

法精准追溯，工艺优化与绿色制造决策缺乏数据支撑。

（2）解决方案

在储能碳资产管理场景中，基于储能电站的运行数据，利用物联网感知与碳排数据建模技术，动态采集电芯充放电效率、系统能耗、备用功率支撑等关键参数。首先，引入基于生命周期评估方法的碳排放因子模型，以 gCO_2/kWh 为核心指标，结合分项能耗分布与实时工况，通过回归算法构建运行状态与碳排强度的映射关系，支持对不同储能调度策略（如调峰、调频、备用）的碳效能差异性评估，实现精准核算各运行模式下的碳排放量。

其次，将碳管理应用于生产环节，在电芯制造、PACK 组装、系统集成等各阶段部署碳排放监测与能效分析模块，实时采集材料生产、工艺加工、设备运行等过程中的能耗与排放数据。通过基于图模型的工艺路径碳映射算法，将工序建模为有向图节点，能耗与排放作为边权，利用图遍历与权重聚合方法快速计算单位产品的全过程碳足迹，实现“产品级碳账本”的自动生成，构建涵盖原材料供应、生产制造到出厂交付的全流程碳足迹管理体系。

随后，依托标准化建模与数据可视化技术，指导企业识别高碳排放工序，优化工艺路径与设备能效，推动绿色制造体系建设。平台还构建覆盖绿电调度、低碳调频策略、电网侧负荷

优化等场景的碳减排策略库，实现碳资产的数字化管理与策略推荐。

最后，系统支持与绿电交易平台、碳排放权交易系统、绿证市场等多方互联互通，推动碳足迹全流程的可视化、可控化与可追溯，显著提升企业在储能行业绿色价值链中的竞争力。。

（3）应用场景

某头部储能企业构建了基于运行数据的碳资产管理平台，平台聚焦于电化学储能项目在全生命周期中的碳排放与碳收益核算，涵盖三大功能：**a.碳盘查**：基于 AIoT 设备实时采集储能电站运行能耗、功率转换效率、备用能量损耗等指标，按照企业排放边界与碳核算标准计算温室气体排放量，结合特定场景的碳因子库提升核算精准度。**b.碳减排**：平台支持智能推荐绿色运行策略，如峰谷优化、绿电直充、可再生能源协同等，通过多种减排路径在线跟踪碳减排项目效果，实现储能系统对碳减排价值的最大化贡献。**c.碳抵消**：企业对无法规避的剩余碳排放量，通过平台连接绿证、碳汇、CCER 等交易机制，实现绿色权益的可追溯购买，确保碳资产的真实性和市场价值兑现。

4.1.13 生产基地废弃物管理

（1）存在问题

电化学储能生产基地在极片裁切、电芯组装、电池检测等

环节会产生大量含溶剂残液、废活性材料、废电解液和污染防治用品等危险废弃物，但当前危险废弃物从暂存、转运到处理的全过程监管机制不健全，相关流转记录往往依赖人工填写或系统外部记录，存在数据缺失与责任不清的问题。部分厂区尚未实现与第三方危废处置单位的信息系统对接，造成废弃物去向难以有效追溯。缺乏统一的数字化平台用于危废台账自动更新、转运联动监管与合规性验证，埋下环境与安全隐患。

（2）解决方案

针对电化学储能生产基地在涂布、分切、注液及检测工序中产生的废极片、含电解液固废、废溶剂和污染防治材料，部署危险废弃物全过程动态管理平台，实现对危废生成、分类、暂存、转运与处置各环节的信息化监管。

首先，平台嵌入基于马尔可夫链的危废流转状态跟踪模型，将危废在各处置阶段的转移行为建模为状态转移过程。结合贝叶斯推断算法，智能识别并纠正状态变更中存在的缺失与异常时间延迟，提升数据闭环的完整性与准确性。

其次，各管理节点通过二维码扫码与移动终端联动执行操作，确保危废信息的实时上传和轨迹闭环，强化监管透明度。

此外，危废库区配备可燃气体泄漏报警器、液体泄露收集装置、防渗漏托盘等安全设施，全面提升危废储运安全水平，保障电化学类特种固废的合规处理与可追溯管理能力。

(3) 应用场景

某电化学储能企业生产基地部署了针对电芯测试废液、残极片、含溶剂材料等危险废弃物的动态管理系统，利用二维码标识与远程监控，实现废弃物全流程的可视化追踪与信息化管理。平台可实时记录各类危废的产生、入库、转移、出库时间和去向信息，确保所有操作流程符合《危险废物管理规范》。废物暂存区配备气体泄漏报警、耐腐蚀防渗托盘与通风系统，预防安全事故发生，同时通过安全联动模块实现远程报警与监管部门数据对接，提升储能制造过程中特种危废的全生命周期安全处置水平。

4.1.14 储能关键产线能耗数据监测

(1) 存在问题

当前电化学储能企业在极片涂布、辊压、干燥、注液和化成等关键环节的能耗数据采集仍依赖传统手段，存在人工录入频繁、采集周期长、关键设备用能盲区多等问题，难以满足高密度能耗监管的实际需求。工厂在各功能区域的水、电、压缩空气、氮气等能源介质使用信息尚未实现统一采集与跨系统实时同步，导致在高能耗工段如干燥炉、注液机等处能耗偏高问题难以及时发现与干预，制约整体能源使用效率的提升。

(2) 解决方案

在储能关键产线能耗数据监测场景中，通过部署覆盖极片制造、注液、化成、组装测试等关键工序的智能能源表计和工业传感器网络，实现对高能耗设备（如干燥炉、化成柜、空压系统等）水、电、气等能耗数据的精细化采集。依托储能行业专用的能源管理平台，将实时能耗数据进行可视化展示，并结合大数据分析技术，自动生成设备级、工段级的能耗统计报告与异常能耗预警，提升能耗监控的及时性和准确性。

在数据治理环节，引入基于多任务学习的能耗数据填补模型，通过跨设备、跨介质的信息联动建模，实现对采集盲区和异常数据的精准预测与动态纠偏，保障数据的完整性与可靠性。

在能效管理环节，基于准确、完整的能耗数据，支持关键产线的能效对标、趋势预测和精准能耗管控，为企业制定优化方案提供坚实的数据基础，助力实现绿色制造与节能降耗目标。

（3）应用场景

某电化学储能企业围绕电芯制造、模组装配、PACK 组装等高能耗工序，建设了覆盖全厂的能耗数据采集体系，形成了以下五类应用场景：**a.**企业通过自建光伏电站、风光互补微网等绿色能源项目，显著提升能源自给率，荣获国家级绿色制造示范企业称号。**b.**利用统一部署的能源监控平台，将关键储能产线的电芯干燥、极片涂布、化成分容等设备接入系统，通过智能电表与物联网终端实现用电数据的实时采集与远程监控。**c.**

集成电力监控、分布式光伏、冷热机房系统等模块，构建覆盖储能电池生产全过程的综合能源管理平台，结合大数据与工业网络，实现能耗数据全流程采集、计量和可视化展示。d.对自动化产线的设备运行功率与单位产出进行关联分析，自动生成能耗报告并进行单设备、单工段能效对比，便于运营、设备和能源管理团队及时识别异常耗能点并优化参数设置。e.在焊接、层压、干燥等高功耗设备上布设高精度能耗计量装置，平台实现能耗数据与MES系统对接，支撑实时能效监控、需求响应管理及峰谷用电策略调整，降低总体能耗成本。

4.1.15 储能一体化能效平衡与优化

(1) 存在问题

目前缺乏覆盖电芯制造、PACK装配、电池测试及储能系统集成等环节的一体化能源管理平台，无法实现对各类工艺段及能源载体（如电、蒸汽、热水、压缩空气等）的综合能耗统计、趋势分析与对标评估。由于储能行业内不同生产工艺的能耗结构差异较大，如注液区需要恒温恒湿环境、化成区能量回馈比重要高，现有系统缺乏基于工艺特征的能耗分析模型与优化控制策略，导致资源调度效率不高，单位产品能耗长期偏高，制约绿色制造转型进程。

(2) 解决方案

在储能一体化能效平衡与优化场景中构建面向储能电池全

生命周期生产流程的能源流向管理系统。第一步，构建面向储能电池全生命周期生产流程的能源流向管理系统，整合能耗计量数据与各工艺段的生产节拍、设备状态及环境参数，开展能流分析与动态负荷平衡控制，形成全流程能效监测基础。

第二步，引入基于孤立森林与动态时间规整算法的智能能效调节系统，实时感知电化学储能制造中不同环节（如恒温恒湿要求高的注液车间、电流冲击大的化成区域）的能源需求变化。

第三步，系统自动优化能源调配策略，提高设备负载匹配度，减少峰值能源浪费，提升能源利用效率。

最终，通过上述措施，推动企业整体用能的智能化和低碳化转型，实现储能制造过程的绿色高效运行

（3）应用场景

某公司基于能源流向分析，对能源购转换、输送、使用、回收再利用过程中各个环节的能耗计能源平衡、关键能源指标进行分析，特别是对重点用能设备（空调、制冷、空压等）、能源消耗区域的能效水平进行多维度分析，辅助管理人员和操作人员找出改善能源工作绩效的关键，加强能源管理工作，减少能源消耗，满足能源使用和生产活动匹配，并实现能源调度。

该技术已经在集团内部各生产基地推广应用，实现了如下4种应用：**a.**依据某平台建立工厂能源管理系统**FIMS**，建立了

能流分析模型，可显示企业能流走向，直观监控各关键用能环节，有效地减少能源浪费，低效使用的情况。**b.**自主开发了节能模块，运用数字化、可视化、大数据分析的方式对工厂存在节能潜力的用能单元进行监控分析，为管理者制定节能方案提供了数据支撑。**c.**供能设施配备行业内领先的自调节，自控制系统，不仅可依据车间内的温度、湿度、洁净度等间接信号进行自身运行工况的同步调整适配，也能接受产线的实际生产状态，工艺设备的运行状况等直接信号，完成自身运行模式的切换，极大地提高了产线生产环境的稳定性，员工工作环境的舒适性，工厂运行成本的节能性，实现了锂电产线生产的低成本高质量运行。**d.**建立了设备监控系统，可实现关键工序，关键设备运行状态，运行参数的实时监控，提高了各重点用能设备的运行稳定性，安全性，减轻了现场巡检人员工作量，降低公司人力成本。系统内置智能算法，可依据设备运行参数变化，预测性研判设备运行是否出现异常，提前预警并自动生成对应工单，以邮件形式发送对应区域负责人员，实际情况经责任人确认后以文字形式上传系统。历史故障记录在系统中积累沉淀为知识库，不断优化算法提高预测性研判的准确性和及时性。

4.2 生产作业

4.2.1 产线柔性配置

4.2.1.1 电芯制造产线柔性配置

(1) 存在问题

面对多型号、多规格电芯并行生产，卷绕、叠片、注液等工序必须频繁换型。传统专机设备通用性差，更换夹具、调整参数主要依赖人工，不仅换型时间长、停机空窗多，还易因设定失误造成尺寸偏差、堆叠错位和封装缺陷；与此同时，物料配送与产线节拍耦合度低，MES 与设备间的数据同步滞后，导致生产节奏被迫放慢、资源利用率下降、产品一致性难以保证。

(2) 场景描述

电芯制造产线柔性配置场景旨在通过“一机多能”装备、智能物流和自适应工艺控制三位一体，实现产线对不同型号电芯的分钟级快速切换。系统在接收新订单后，可自动完成工装更换、物料配送、工艺参数切换与在线校正，使设备、物流和工艺协同运行，保持高节拍、高一致性的连续生产，满足储能市场多品种、短交付周期的需求。

(3) 解决方案

首先，在卷绕、叠片和注液等核心工序引入模块化夹具和快换工装的一机多能设备，MES 调用整数线性规划模型计算

最短换型序列，并同步下发换装动作，减少停机空窗。然后，构建 AGV 与线边仓联动体系，AGV 按型号自动提取物料并就近投送，动态调整库位与路径，确保物流节拍与工艺同步。最后，MES—PLC 协同调用工艺配方库，对极片张力、卷绕速度、注液量等参数一键下发，并利用知识图谱推荐和在线残差修正算法实时微调；若监测到质量偏差，系统立即联动相关工序自动调参，形成排产、物流、设备、工艺的闭环柔性控制，显著缩短换型时间并提升产线利用率与产品良率。该方案的应用场景可以参考以下案例：

某公司通过 MES 与 CCD 视觉系统集成的柔性制造平台，已在极片下料、卷绕与叠片工序实现柔性混线。机器人在 CCD 辅助识别下精准完成电芯抓取与对位，视觉系统同时完成尺寸检测和极耳识别，MES 系统据此进行自动调度上下料。叠片环节则采用可编程轨迹规划的自动叠片设备，实现了多种电芯结构的切换无需人工介入。极片制作段部署自动对中系统和宽幅调节模块，实现自动调宽调速，有效支撑多规格产品的连续生产，整体柔性能力显著提升。

该系统采用的关键装置和技术如下：

1) 在电化学储能电池生产车间，通过设备柔性化配置实现多型号产品的快速切换生产。涂布机、辊压机等关键设备配备标准化工艺参数库，可根据不同规格的电芯产品自动调整工作

模式和工艺参数。当遇到紧急订单变更或原材料供应波动时，系统能快速重组生产流程，在保证三元锂电池和磷酸铁锂电池混线生产的同时，维持生产线的连续稳定运行，有效应对储能市场的动态需求变化。



图 41 - 卷绕机



图 42-电芯堆叠



图 43-注液机

LE/先导 LDDS7200 MBB高速串焊机 V1.1

切换用户 修改密码 语言 退出

A侧参数1 A侧参数2 A侧参数3 B侧参数1 B侧参数2 B侧参数3 内部参数1 内部参数2 **A侧配方参数** B侧配方参数

A侧参数

A侧前缘数: 16 槽
 A侧单晶片数: 12 片
 A侧硅片尺寸: 95.80 mm
 A侧片间距: 1.10 mm
 A侧串间距: 15 mm
 A侧焊丝中长度: 171 mm

A侧工位参数

A侧压网检测工位: 0 片
 A侧焊接工位: 12 片
 A侧取压网工位: 16 片
 A侧切刀工位: 23 片
 A侧下料工位: 27 片

A

A侧加热平台设置

1机头 2 3 4 5 6 7机尾

A侧加热平台设置: 80 90 120 120 90 80 75 °C

A侧焊接参数

| | | 1机头 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8机尾 | | |
|--------|-----------|--------|---------|---------|---------|------|------------|-----|-----|---|---|
| 等待功率 | 17 功率1 % | 30 | 30 | 30 | 30 | 56 | 52 | 50 | 51 | | |
| 压针时间 S | 0 焊接时间1 S | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | | |
| 焊接启动时间 | 0 功率2 % | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| | 焊接时间2 S | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 停机功率 | 16 功率3 % | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| | 焊接时间3 S | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| | 功率4 % | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| | 焊接时间4 S | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 焊接模式 | 3 | 开启 | 开启 | 开启 | 开启 | 关闭 | 关闭 | 关闭 | 关闭 | | |
| | 停机等待时间 S | 3 ~ 15 | 15 ~ 25 | 25 ~ 40 | 40 ~ 80 | > 80 | 开机补偿时间 S 0 | | | | |
| | 停机补偿时间 S | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | 停机补偿功率 % | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

报警 配方 操作查询 IO监控

2024/03/28 18:16:18

图 44-串焊机焊接配方切换



图 45-组件层压工艺图切换



图 46-接线盒配方图切换

2)构建面向储能电池生产的智能物流体系,整合立体仓库、AGV 搬运系统和输送线网络。系统通过独立的物流数据库实时跟踪电芯生产批次、化成数据、分容结果等关键信息,并与MES 系统保持数据同步。在模组 PACK 车间,智能调度系统协

调机械手抓取、AGV 转运和立体库存储等环节，实现从电芯上线到成品出库的全自动物流配送，满足储能电池产品多样化带来的复杂物料流转需求。



图 47 - 立体库



图 48 - 输送线

3) 采用 5G 工业互联网技术实现生产系统的柔性重构，通过 5G 网关将涂布、分切、叠片等设备与 AGV 系统接入企业内网。该系统支持与 ERP 订单系统、MES 执行系统和 WMS 仓储系统的实时数据交互，可根据不同型号储能电池的生产要求，快速调整设备参数和物料配送路线。在应对海外储能项目特殊规格订单时，能在快速完成生产线配置切换，显著提升储能电池生产的市场响应能力。

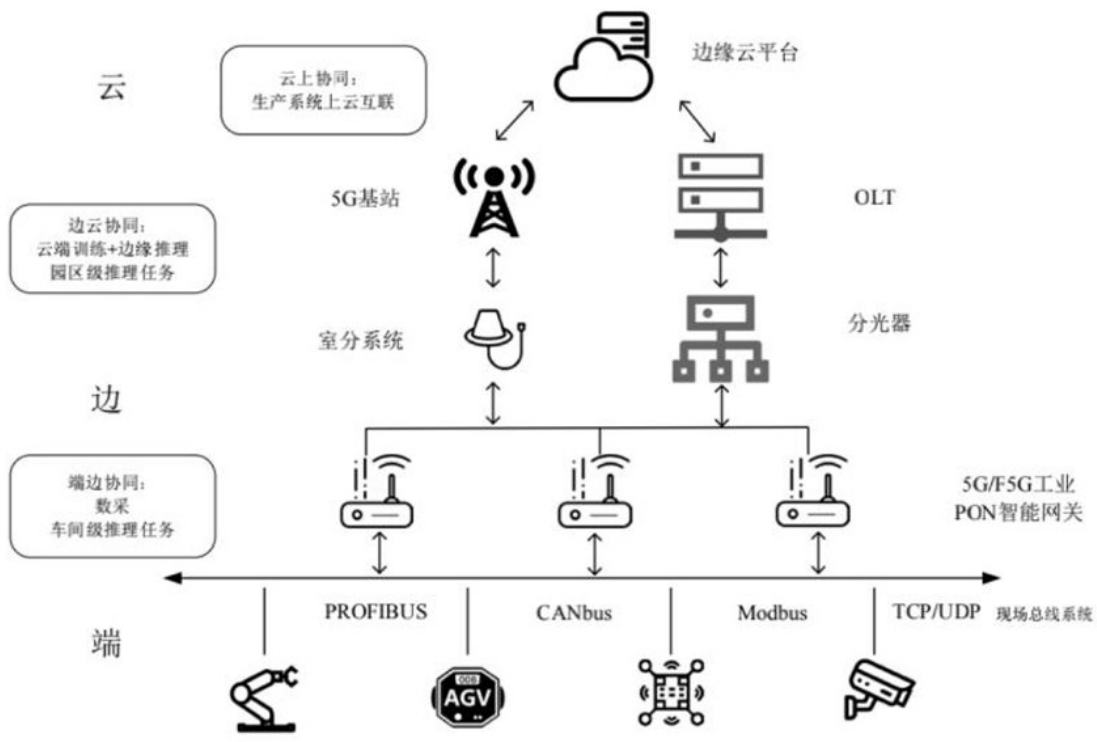


图 49 - 5G+柔性生产制造网络架构

Project Edit View Online Help

NewProject

- Main Settings
 - Job Settings
 - Robot1_3_Job
 - Robot1_4_Job
 - Robot1_5_Job
 - Robot1_6_Job
 - Target Device Settings
 - Device Tag Settings
 - Robot1_3_Tag
 - Robot1_4_Tag

Device Tag Setting List

Adding/Editing the Device Tag Settings

When adding a device tag setting, select a blank line and click the "Edit" button.
When editing the existing device tag setting, select the applicable line and click the "Edit" button.

| No. | Device Tag Name | Comment | Data Writing | Array Size |
|-----|-----------------|---------|--------------|------------|
| 1 | Robot1_3_Tag | | | |
| 2 | Robot1_4_Tag | | | |
| 3 | Robot1_5_Tag | | | |
| 4 | Robot1_6_Tag | | | |

Device Tag Setting No.[1]

Device Tag Name: Robot1_3_Tag

Comment:

Device Tag Settings

Set the device tag as the logical group of device memory to be used in the job.
Further, set a component name as the logical name for each device memory.

| No. | Component ... | Target Device | Device Memory (Start) | Device Memory (End) | Data Type |
|-----|---------------|---------------|-----------------------|---------------------|-------------------------------|
| 1 | READADDR | ControlCPU | ... R5628 | R5628 | Word [Signed] |
| 2 | GLASSID | ControlCPU | ... R5600 | R5619 | Character String [ASCII/SJIE] |
| 3 | STRINGID1 | ControlCPU | ... R5470 | R5479 | Character String [ASCII/SJIE] |
| 4 | STRINGID2 | ControlCPU | ... R5480 | R5489 | Character String [ASCII/SJIE] |
| 5 | STRINGID3 | ControlCPU | ... R5490 | R5499 | Character String [ASCII/SJIE] |
| 6 | STRINGID4 | ControlCPU | ... R5500 | R5509 | Character String [ASCII/SJIE] |
| 7 | STRINGID5 | ControlCPU | ... R5510 | R5519 | Character String [ASCII/SJIE] |
| 8 | STRINGID6 | ControlCPU | ... R5520 | R5529 | Character String [ASCII/SJIE] |
| 9 | STRINGID7 | ControlCPU | ... R5530 | R5539 | Character String [ASCII/SJIE] |
| 10 | STRINGID8 | ControlCPU | ... R5540 | R5549 | Character String [ASCII/SJIE] |
| 11 | STRINGID9 | ControlCPU | ... R5550 | R5559 | Character String [ASCII/SJIE] |
| 12 | STRINGID10 | ControlCPU | ... R5560 | R5569 | Character String [ASCII/SJIE] |

Delete

图 50 - MES 与 PLC 对接

4.2.1.2 PACK 车间产线柔性配置

(1) 存在问题

在 PACK 车间产线环节，由于各类电池包的模组数量、结构布局、BMS 配置、散热单元等存在明显差异，传统固定工装与专机设备难以满足多种产品共线装配的需求，频繁的工位调整与装配路径重构使得产线换型周期长、操作复杂度高。此外，在 PACK 测试与老化过程中，不同产品的电压、电流及容量测试标准各异，测试系统需反复手动调整设定参数，不仅影响节拍效率，还提升了质量波动和操作风险。同时，由于物料种类多、配置复杂，在多型号并行环境下易发生物料错拣、误接等问题，影响最终装配精度与产品一致性。

(2) 解决方案

在工装环节，产线采用模块化、可调节的模组装配平台，将底板、电芯定位销、柔性夹具与快速锁紧机构设计成可拆换的标准化模块；操作员仅需替换少量夹具即可完成不同容量、不同散热单元布局电池包的就位与限位，换型时间由小时级压缩至分钟级，同时保证装配精度不受结构差异影响。

设备端引入多功能机器人和可编程装配单元，机器人配备电动快换接口，能够在 MES 任务下线后自动更换螺钉头、吸盘、压接钳等末端执行器；基于深度强化学习的轨迹自适应模型实时重规划运动路径与工艺动作序列，确保在切换模组数量、

走线方式和 **BMS** 插接位置时无需人工示教即可完成动态避障和节拍优化，从而降低设备冲突概率并提升换型效率。

物流层面，**AGV** 与智能立库通过 **MES** 下发的型号清单自动匹配托盘和物料箱，**AGV** 路径控制系统依据工位状态与节拍需求动态排队；物料到达工位后，扫码与 **RFID** 双重校验可在放置前完成型号匹配与错漏检测，避免因并行生产导致的物料误接、漏拣问题，保障最终装配一致性。

系统控制层以 **MES** 为调度核心，与 **PLC**、测试老化台建立模型化接口：作业工单一旦切换型号，系统即按产品 **BOM** 调用预存配方，自动下发装配转矩、测试电压电流档位和老化温控流程；**PLC** 在执行中实时上传电批曲线、测试数据和工艺温度，并与数字孪生模型比对偏差，异常即刻反馈至调度界面，实现装配、测试、老化全流程的无缝切换与质量稳定输出。

（3）应用场景

某公司采用视觉识别与 **RFID** 物料追溯技术，实现模组进线自动识别型号与配置，自动引导机器人执行相应工艺路径。工装夹具具备伸缩调节功能，能够灵活适配不同尺寸与壳体的电池模组，配合可换工具的装配机器人，有效实现混线作业。在终检与老化测试环节，**MES** 系统与测试平台深度融合，可自动加载不同 **PACK** 产品的测试电压、电流、时间策略，无需人工输入，缩短切换时间并确保安全性与准确性。同时，产线采

用模块化结构框架，支持快速扩展或收缩生产能力，能够灵活应对多品种、小批量的客户需求，有效支撑企业柔性制造能力升级。

4.2.2 精益电池生产管理

(1) 存在问题

传统精益工具更新周期长且多依赖人工录入，数据滞后和人为失误频发；同批次单体电芯在容量、电压等参数上存在离散，需人工挑选参数相近的电芯并赋予组号，带来大量挑选、搬运、存储浪费，并造成库位紧张和作业效率下降；此外，组号管理不连贯导致生产、仓储、出货之间的信息链断裂，影响整体价值流的顺畅衔接。

(2) 场景描述

精益电池生产管理场景旨在用数据驱动的方式，将制造现场的生产计划、工序执行、设备效率和电芯质量实时联接，并通过自动分群与工序协同，消除人工挑选和信息断档带来的浪费。场景核心是以 MES 为主线、BI 系统为决策中枢，将电芯参数分群、组号流转和价值链对接整合为统一闭环，实现从生产到出货的精益协同和透明管理。

(3) 解决方案

首先，通过大数据分析平台引入精益管理方法（生产闭环、

5M1E、六西格玛、DOE），对设备 OEE、良率、工序节拍等指标进行持续监控，及时锁定瓶颈和改进方向。其次，在 BI 系统中构建多主题业务分析模型，利用聚类算法对电芯容量、电压等关键参数进行多维聚类，自动划分组号并输出分群均匀度指标，取代人工挑选，减少库位占用和搬运浪费。随后，MES 系统在流程、批号和扫码管理规则中嵌入“组号挑选—单体出货”连接策略，确保组号与订单、包装、出货信息一一对应，打通生产与物流价值链，避免不同组号混发。通过这一数据驱动、自动分群与价值链贯通的精益管理体系，企业可实时掌握作业计划执行、设备利用与电芯质量分布，持续消除浪费并提升生产效率。该方案的应用场景可以参考以下案例：

某企业通过引入 MES 系统，实现了 PACK 生产车间的精益生产管理，涵盖电芯上料、云母布安装和模组入箱三个环节。在电芯上料环节，MES 系统通过扫描电芯的唯一序列号或条形码，确保电芯准确识别和追溯，获取详细信息并确保符合生产要求。系统指导操作人员或自动化设备准确放置电芯，并记录上料时间和位置，为后续追溯提供数据支持。在云母布安装环节，MES 系统与自动化设备集成，根据工艺参数生成裁剪和安装指令，确保安装精度和一致性，实时监控设备状态，处理质量问题，并记录安装信息，支持质量追溯。在模组入箱环节，MES 系统通过扫描模组标识符确认身份，生成入箱指令，自动

化设备确保模组正确放置并标识，系统实时监控入箱过程，提供生产进度和箱子利用情况的统计数据。通过 MES 系统的自动化识别和引导，生产效率显著提升，电芯上料过程加速。MES 系统简化物料追溯，支持质量控制和问题解决，并提升云母布裁剪和安装质量，有效减少了因安装不当导致的质量问题。

该系统采用的关键装置和技术如下：

1) 基于数据驱动的电芯精益制造体系深度融合 PLM 数字工艺平台与 MES 执行系统，在电芯制造环节实现工艺参数智能优化。系统通过分析历史生产数据，自动推送最优涂布压力、辊压速度等关键工艺参数至生产设备，并联动激光焊接机、注液设备等关键装备实现参数自动切换。在极片生产工序中，系统通过实时检测数据反馈调整工艺参数，显著提升电芯制造精度与一致性。

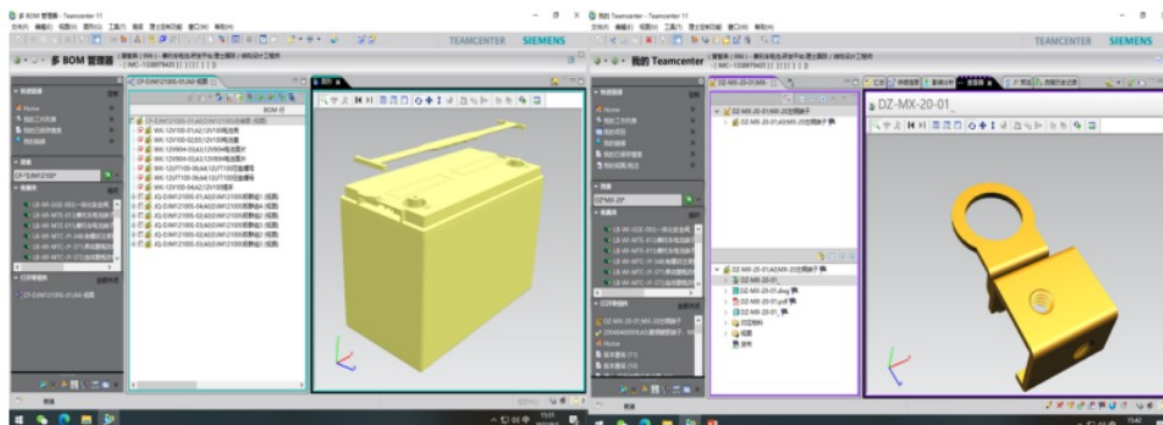


图 51-PLM 产品结构

2) 在 PACK 车间实施数字化精益生产管理，通过 MES 系统与自动化产线深度集成，实现电芯上料-模组装配-箱体集成的

全流程管控。系统基于电芯标识自动识别电池参数，指导自动化设备精准操作；在绝缘处理环节，根据产品规格自动匹配云母布安装方案，通过传感器确保安装质量；模组入箱时采用视觉定位系统，确保装配精度。该方案有效缩短产线换型时间，提升物料追溯效率。



图 52-车间现场

3)构建电池行业工业互联网平台，集成MES生产数据、ERP订单信息及WMS库存数据，建立基于客户需求的生产优化模型。平台通过分析电芯工艺特征自动生成排产方案，AGV调度系统根据实时工单动态调整物流路径。质量大数据平台关联工艺参数与性能指标，建立缺陷预警机制，提升产品质量管控水平。



图 53-车间各条产线良率实时状态显示图

4.2.3 工艺动态优化

4.2.3.1 电芯工艺动态优化

(1) 存在问题

在储能电池制造过程中，焊接工艺质量对电芯性能和安全性具有关键影响。然而，传统焊接质量依赖人工目检和翘检方式，难以识别内部缺陷，仅能判断表面状态，导致漏检风险高。与此同时，工艺数据未实现实时采集与反馈，缺乏异常监控与数据支撑，导致工艺参数漂移难以及时识别与修正，工艺分析也难以系统化开展，进一步影响产品一致性与良率。

(2) 场景描述

电芯工艺动态优化场景旨在通过智能化传感系统与数据驱动的质量控制手段，实现关键工艺如激光焊接过程的实时监测、

异常检测与闭环优化。该场景将焊接质量检测系统（如 LWM、WDD）与 MES 系统深度集成，结合机器学习算法对多变量工艺数据进行建模与分析，实现从工艺参数设定、执行监控到异常修正的全过程智能管理。通过构建工艺动态优化机制，可有效降低人为检测负担，提高工艺调控的及时性与产品一致性。

（3）解决方案

在关键焊接工艺段部署 LWM 和 WDD 等焊接监测系统，实时记录焊接能量、激光功率、温度分布等工艺参数，并构建多变量工艺异常识别模型。通过将统计过程控制方法与机器学习算法相结合，系统可精准识别偏离正常分布的异常点，利用主成分分析对工艺数据进行降维建模，识别工艺波动的关键驱动因素，从而提高异常预警的准确性与响应速度。MES 系统与产线设备实现深度集成，将工艺参数与生产工单绑定，在设备执行过程中进行参数采集与执行区间比对，一旦检测到工艺偏差即触发报警并引导修正。此外，所有工艺执行数据统一汇聚至 MES 平台，基于数据驱动的工艺分析机制支持对历史工况、异常事件与质量结果的关联分析，从而持续优化工艺设定与控制策略，实现工艺管理由经验主导向数据决策的跃升。该方案的应用场景可以参考以下案例：

某工厂通过 PLM 系统搭建 BOM 和初版工艺路线，并将 PLM 样品研发环节下发至 MES 系统。MES 系统读取 BOM 和

工艺路线文件参数，根据不同订单申请订单号，并通过 MES 与 PLM 集成关联 BOM 和工艺路线，再传递给现场设备 PLC，指令下发至生产设备。所有工艺路线和 BOM 均由 PLM 系统进行受控管理，不同产品的工艺库可进行版本更新，从而实现工艺知识库的持续优化。通过该实施，企业形成了完整的工艺知识库，所有工艺路线和 BOM 均受 PLM 系统控制。基于产品工艺知识库，工厂能够快速协同生产订单，形成生产计划，并根据 MES 系统对生产订单管理设置的工艺路线执行作业。通过数据采集和工艺调整，有效跟进产品质量，及时解决工艺问题，降低了因工艺导致的质量问题。

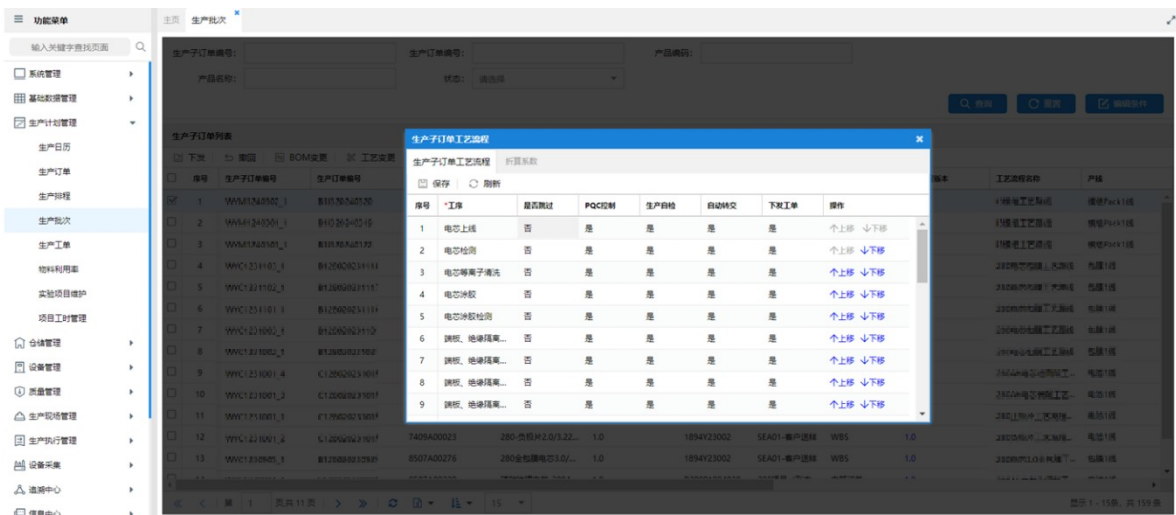


图 54-工艺变更

4.2.3.1 PACK 装配工艺动态优化

(1) 存在问题

在储能电池 PACK 装配环节，由于涉及多个模组并联、串联以及复杂的结构集成，传统工艺下连接紧固、导电连接片焊

接及热管理模块安装等均依赖人工经验操作，难以确保一致性和精度。同时，装配过程缺乏在线检测机制，出现装配偏差、连接松动、焊点异常等问题时，难以及时发现并溯源，影响 PACK 整体性能与后续系统集成。

（2）解决方案

引入自动化 PACK 装配产线，利用扭矩传感器、焊点质量监测系统与工业相机，实现螺栓紧固、焊接质量和结构对位的实时监控；通过 MES 系统与产线设备集成，将装配工艺流程与质量参数标准嵌入控制逻辑，基于实时采集的扭矩、焊点和图像数据，构建多传感器融合的异常检测模型，采用卷积神经网络对工业相机采集的图像进行焊点缺陷识别，同时结合支持向量机对扭矩与传感器数据进行多维特征分类，实现对装配质量的精准实时评估，自动判断装配动作是否符合工艺规范；工艺数据实时采集后存入 MES 系统，异常项可自动触发预警或阻断后续工序流转。同时，结合历史装配数据开展多维度工艺分析，支持企业对 PACK 装配流程的动态优化调整与预防性维护计划制定。

（3）应用场景

某 PACK 生产工厂通过 PLM 系统设计 PACK 模组结构与装配工艺，结合 MES 系统将工艺步骤标准化并关联至每道工序的作业指令。作业人员通过工位终端接收装配指令并完成操

作，系统实时采集扭矩值、焊接质量图像、位置偏差等关键装配数据。一旦系统检测到连接扭矩不足或焊点异常，立即生成工艺偏差报告并上报至质量管理中心，实现快速闭环处理。随着数据积累，该企业不断优化连接工艺参数与装配顺序，提高整体组装效率与一致性，最终有效降低 PACK 系统的不良率与返修率。

4.2.4 电池生产先进过程控制

(1) 存在问题

在锂电池制造过程中，电极涂布作为核心工艺环节，其质量直接决定了电芯的一致性和性能稳定性。然而，传统工艺高度依赖操作员或工程师手动调整参数，面对浆料黏度波动、热风干燥效率变化等复杂干扰因素时响应滞后，导致膜厚控制精度差、产品合格率不稳定。此外，离线检测周期长、反馈延迟大，使得缺陷积累、原料浪费与能源消耗居高不下，制约了电池工艺效率和绿色制造水平。

(2) 场景描述

电池生产先进过程控制场景通过引入高级过程控制(APC)平台，将软测量技术、多变量预测控制(MPC)与自学习机制相结合，实现涂布过程参数的实时获取、动态优化与智能预警。该场景构建涂布设备与干燥系统的全量数据闭环通路，利用软传感器估算关键物理量，通过预测性控制算法优化风温、速度

等控制变量，实现工艺状态的稳定保持与能效协同调节。平台具备自适应学习能力，持续积累历史工艺与良率数据，不断优化参数控制策略，推动涂布工艺向更高的一致性、节能性与智能化水平发展。

（3）解决方案

首先，在涂布机、干燥箱及供浆系统等关键节点部署高精度传感器，采集浆料黏度、涂布速度、热风温度、湿度与张力等工艺变量，并通过软测量技术在线估算膜厚与干燥段残溶剂含量，避免依赖传统离线抽检，提升过程响应时效。接着，基于 APC 平台构建多变量模型预测控制（MPC）系统，实时计算风温、风量与涂速的最优组合，控制器以 30 秒为周期滚动更新预测窗口，一旦识别出浆料性能波动或干燥系统负荷变化，系统立即动态调整配方参数与干燥曲线，确保膜厚一致性与烘干效率。最后，通过引入自学习模块，系统分析历史批次的良率、膜厚波动与能耗数据，动态优化膜厚公差带设置；若预测良率低于预设阈值，系统提前推送预警，提示检查滤网、调配比或调整涂速。通过“软测量感知—MPC 控制—自学习优化”的三位一体方案，有效降低了工艺波动对成品质量的影响，同时实现原材料利用率和能耗控制的双提升，推动涂布工艺向稳定、高效、智能演进。该方案的应用场景可以参考以下案例：

某工厂车间通过云化 AGV 集群调度系统与 MES、WMS

系统集成，MES 系统监控各工序物料配备情况。当接驳台空闲时，MES 自动触发配送任务，AGV 小车运送空货架至接驳台，待物料配送。物料完成工艺后，通过机械手安装至放置盘，传送至传输带，达到设定数量后自动送至货架，AGV 小车将货架运送至下一工序或暂存区。每台 AGV 小车配有图像传感器和惯性测量单元，AGV 调度系统实时显示位置、路线、搬运信息，确保集群任务调度和故障诊断。车间 AGV 采用激光 SLAM 和视觉定位技术，保障运行安全，最小间距仅 5cm，确保高速稳定运行。车间采用机械臂和自动分拣输送线进行物料输送，通过 PLC 程序控制实现自动化操作，调整生产线适应不同工序速度，减少人工搬运带来的安全风险。



图 55 – 自动分拣包装控制系统

4.2.5 智能协同作业

(1) 存在问题

在锂电池制造过程中，诸如冲切、叠片等关键工序仍依赖人工操作完成，其过程复杂、重复性高且精度要求极严，人工参与不仅易导致操作误差和生产节奏不稳定，还存在安全风险与疲劳失效问题。此外，不同设备之间信息孤岛现象严重，极片在转运、对位过程中易发生损伤与报废，产线联动效率低，冲切与叠片环节常出现堆料、等待或节拍错位，制约整体产能释放。伴随产品型号多样化、工艺参数复杂化，传统调度模式难以满足协同效率与质量管控的双重要求。

(2) 场景描述

智能协同作业场景聚焦于锂电池制造过程中多工序、多设备之间的高效联动与智能协同，通过 MES 系统、智能调度算法、AI 视觉识别、数字孪生等核心技术，构建一个覆盖冲切、叠片、传输等工艺节点的智能生产网络。该场景实现了极片质量的动态检测、物流路径的自适应规划、工艺工单的精准下发以及设备状态的实时反馈，提升了中间品转运的时效性与准确性，降低了因设备运行波动或参数不匹配引发的质量问题与资源浪费，从而全面优化冲切叠片环节的效率与一致性。

(3) 应用场景

在智能协同作业的建设中，首先以车间 MES 系统为核心，

集成智能柔性管控平台，建立贯穿冲切叠片关键工艺的统一控制框架。MES 系统通过解析生产计划、产品型号与工艺路径信息，结合各工站设备能力，自动下发最优工单，实现个性化产品的精准工艺匹配和任务分配。随后，在冲切叠片环节部署 AI 视觉识别与智能分拣系统，对极片质量进行在线判别与动态引导，确保上下游设备对接准确，极片搬运过程最短、姿态最优，有效降低因偏移、卷边等异常导致的极片损伤与报废。同时，物流路径规划嵌入自学习算法，根据实际排产节奏与工位状态持续优化物料运输节拍与路径，实现冲切叠片与中间工位之间的高效联动。在设备监控方面，引入数字孪生模型对核心设备的运行状态进行动态仿真，实时反映其速度、载荷、振动等指标变化。当系统感知设备出现偏离最优工况的趋势，立即通过异常识别模块将数据推送至 MES，并结合工艺参数库、设备历史表现及当前产线拓扑关系，自动调整执行路径与协作策略，实现对冲切叠片工段的柔性协同与智能管控，保障整体作业效率和产品一致性。该方案的应用场景可以参考以下案例：

某企业在电池 **PACK** 生产车间应用自动化设备与智能系统，实现了电芯上料、云母布安装和模组入箱三个环节的高效协作，整个车间呈现高度智能化、自动化的特点。自动化设备和系统的应用显著提高了生产效率和质量，降低了生产成本和人工干预风险。在电芯上料环节，自动化送料系统将电芯精准输送至

生产线，机械臂通过扫描设备识别电芯信息，确保符合生产要求，实现高效、准确的上料。在云母布安装环节，自动化设备裁剪并将云母布精确安装到电芯指定位置，传感器实时监控安装质量和精度，减少了人为误差。在模组入箱环节，自动化装箱系统将生产好的模组快速装入指定箱子，扫描模组标识确保信息准确无误，封箱设备快速完成封闭和标识打印。与人工操作相比，自动化设备能精确执行工艺参数，降低产品缺陷率 and 不合格品数量。

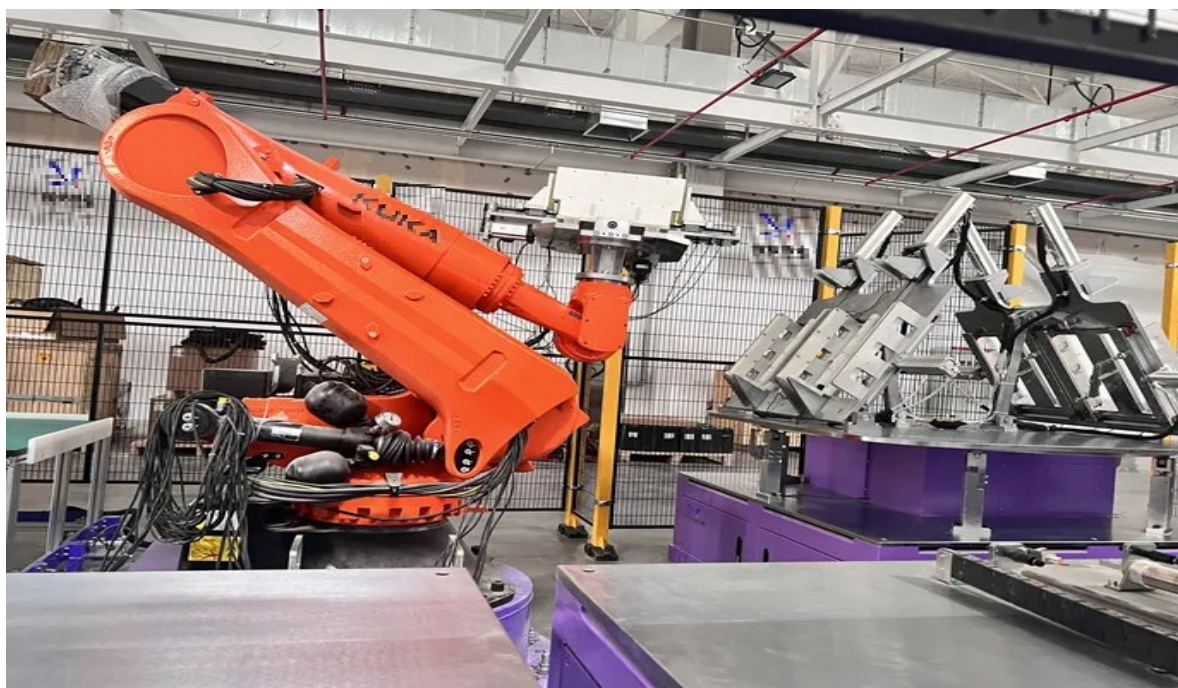


图 56 - 生产现场

生产订单显示: 抬头

物料: [物料号] 工厂: SSDF 类型: ZP11

状态: [状态]

常规 分配 收货 控制 日期/数量 主数据 长文本 管理 客户屏幕 项目 快速录入

| 数量 | | | | | |
|-----|---|----|---------|---|--------|
| 总数量 | 3 | PC | 报废部分 | 0 | 0.00 % |
| 已交货 | 0 | | 缺量/过量收货 | 0 | |

| 日期/时间 | | | | | |
|-------|--------------|-------|--------------|-------|--------------|
| | 基本日期 | | 已计划 | | 已确认 |
| 结束 | 2024. 04. 11 | 00:00 | 2024. 04. 10 | 20:30 | |
| 开始 | 2024. 04. 10 | 00:00 | 2024. 04. 10 | 20:30 | 00:00 |
| 审批 | | | 2024. 04. 10 | | 2024. 04. 09 |

| 计划 | | 浮动 | |
|-----|--------|-------|-------|
| 类型 | 向后 | 计划边界码 | 000 |
| 缩减 | 没有执行缩减 | 生产前浮动 | 0 工作日 |
| 注释 | 无计划附注 | 生产后浮动 | 0 工作日 |
| 优先级 | | 审批期间 | 0 工作日 |

图 57 - 生产计划单

4.2.6 人机协同制造

(1) 存在问题

存在熟练工人短缺、工作环境恶劣、人员持续工作易疲劳；人机无法对话，智能操作缺乏，作业过程复杂、控制不稳定，出错率高；多产品同时生产，频繁换型、混料等突出。

(2) 场景描述

智能协同作业场景聚焦于锂电池制造过程中多工序、多设备之间的高效联动与智能协同，通过 MES 系统、智能调度算法、AI 视觉识别、数字孪生等核心技术，构建一个覆盖冲切、叠片、传输等工艺节点的智能生产网络。该场景实现了极片质量的动态检测、物流路径的自适应规划、工艺工单的精准下发

以及设备状态的实时反馈，提升了中间品转运的时效性与准确性，降低了因设备运行波动或参数不匹配引发的质量问题与资源浪费，从而全面优化冲切叠片环节的效率与一致性。

（3）解决方案

在智能协同作业的建设中，首先以车间 MES 系统为核心，集成智能柔性管控平台，建立贯穿冲切叠片关键工艺的统一控制框架。MES 系统通过解析生产计划、产品型号与工艺路径信息，结合各工站设备能力，自动下发最优工单，实现个性化产品的精准工艺匹配和任务分配。随后，在冲切叠片环节部署 AI 视觉识别与智能分拣系统，对极片质量进行在线判别与动态引导，确保上下游设备对接准确，极片搬运过程最短、姿态最优，有效降低因偏移、卷边等异常导致的极片损伤与报废。同时，物流路径规划嵌入自学习算法，根据实际排产节奏与工位状态持续优化物料运输节拍与路径，实现冲切叠片与中间工位之间的高效联动。在设备监控方面，引入数字孪生模型对核心设备的运行状态进行动态仿真，实时反映其速度、载荷、振动等指标变化。当系统感知设备出现偏离最优工况的趋势，立即通过异常识别模块将数据推送至 MES，并结合工艺参数库、设备历史表现及当前产线拓扑关系，自动调整执行路径与协作策略，实现对冲切叠片工段的柔性协同与智能管控，保障整体作业效率和产品一致性。该方案的应用场景可以参考以下案例：

某企业通过触摸交互界面实现人机交互，集成了MES、ERP、WMS等系统与传感器、控制器生产设备，采集机器人、自动化打包线、制绒自动化、清洗自动化等智能设备的数据，基于实时环境数据、排产信息和历史数据进行分析。通过引入最先进的生产设备，该企业实现了跨车间的自动化输送、模块化生产，并将传统人工转运模式转变为流程化自动转运模式。人机协同制造充分发挥了人和机器的优势，机器完成重复性和高强度工作，提升生产效率，而人则处理复杂决策和问题，保证生产质量。这种协作方式提高了整体生产效率，缩短了生产周期，降低了生产成本，并通过实时监控和反馈优化生产，提升了产品质量和稳定性。人机协同制造可快速调整生产线布局，响应市场变化，减少生产线闲置时间，提高对个性化需求的响应速度，增强企业灵活性与竞争力。机器替代人工工作，降低了人力成本并减少了生产浪费，使人力资源更多地用于技术研发和创新，推动企业技术升级和产品创新。



图 58 - 自动焊接产线

4.2.7 在线智能监测

4.2.7.1 电芯极片涂布在线智能监测

(1) 存在问题

在电芯极片涂布工序中,常见的工艺问题如浆料厚度不均、边缘毛刺、涂布速度波动等,通常源于设备运行状态异常或关键参数控制失效。而传统监测手段多依赖人工巡检和事后抽检,存在响应滞后、反馈延迟等问题,难以及时发现工艺异常并进行有效处置。同时,涂布过程涉及高温烘干、高速运转设备等高风险环节,缺乏远程监控能力亦加剧了设备管理与安全保障的难度,增加了运维压力与质量波动风险。

(2) 场景描述

电芯极片涂布在线智能监测场景,旨在构建涂布工艺全过

程的数字化感知与智能诊断体系，通过部署高精度传感器与工业视觉系统，实时获取浆料涂布厚度、烘干温度、张力状态等多维度数据，并依托边缘计算与 AI 算法，实现工艺异常的快速识别、趋势预测与参数联动优化。该场景实现了工艺指标的全过程闭环控制与质量波动的早期预警，同时保障了设备的运行稳定性与操作安全性，赋能极片涂布环节向“少干预、高一致、低波动”方向演进。

（3）应用场景

在电芯极片涂布工序中，为实现对工艺状态的全过程感知与动态响应，构建以实时感知、异常预警和预测分析为核心的在线智能监测体系。首先，在涂布设备关键位置部署高精度位移传感器、红外测温装置与高清工业相机，用于实时采集浆料厚度、张力变化、烘干温度等关键工艺参数，确保数据采集覆盖全过程、全维度。采集到的多源数据通过边缘处理设备进行初步分析与压缩，随后上传至 MES 系统与 SCADA 平台，实现生产现场工况的可视化展示和动态监控。一旦监测到涂布厚度不均、温度偏差过大或张力异常，系统将自动比对工艺设定值，并触发预警机制或联动控制逻辑，指导现场人员快速介入或由系统直接调整参数，避免批量次品产生。为了进一步提高预测能力与响应效率，系统基于实时数据构建多变量时序异常检测模型，利用长短期记忆网络（LSTM）算法对涂布厚度与温度

变化趋势进行建模，提前识别潜在异常并发出预警信号。同时，设备运行时间、停机次数、异常原因等运行数据被持续记录，并用于计算设备 OEE 指标，辅助企业优化维护策略与产线排程。通过这一智能在线监测方案，可全面提升涂布工艺的稳定性、安全性与设备运行效率，为实现极片制程的高质量与低波动提供可靠支撑。该方案的应用场景可以参考以下案例：

某大型锂电池企业在极片涂布生产线上应用在线运行监测系统，系统实时监控涂布厚度曲线，并对张力变化与烘干段温度进行动态追踪。在某批次生产中，系统监测到涂布厚度局部偏薄并伴随张力异常，自动中断涂布过程并通知工艺工程师处理，避免大量不合格极片产生。系统还基于长期采集数据对设备运行效率进行趋势分析，提出优化换料频率与设备清洁周期的建议，提高了整体产能稳定性。通过部署该系统，企业实现了对极片涂布环节的全过程数字化监控与质量闭环控制，显著减少了材料浪费与人工干预，提高了产品良率和安全生产水平。

该系统采用的关键装置和技术如下：

- 1) 采用高精度面密度检测仪实时监控涂布均匀性，检测数据自动上传至 MES 系统，实现工艺参数闭环控制。



图 59 - 面密度监测

2) 原材料精准计量系统：NMP 溶剂采用电磁流量计进行在线计量；石墨/LFP 等粉体原料通过智能地磅实现自动称重；称重数据实时传输至生产系统，确保投料准确性。



图 60 - 在线计量

3) 注液工序智能管控：集成注液称重系统，实时记录注液前电芯重量、注液后电芯重量和实际注液量，配置在线监测设备，监测露点仪监控注液环境湿度；水分测试仪检测极片含水率；所有检测数据自动生成追溯报表，实现工艺全过程数字化管理。



图 61 - 极片参数检测

4.2.7.2 PACK 装配在线智能监测

(1) 存在问题

PACK 装配环节作为电池系统集成的关键工序，长期面临人工操作效率低、易出错的问题。由于产线设备类型多样、结构复杂，传统设备管理方式存在设备稼动率提升不可控、运行状态不透明、远程管控能力不足等瓶颈，导致整体装配节拍难以保障。此外，缺乏统一的数据采集机制与智能分析工具，使得生产现场难以及时发现设备故障和性能异常，产线维护主要依赖经验判断，无法进行科学的统计分析和故障预测，进一步限制了设备利用率和产能稳定性的提升。

（2）场景描述

PACK 装配在线智能监测场景，旨在打造以工业物联网平台与智能数据驱动为基础的全流程设备监测体系，通过多源感知终端与边缘计算节点，实现关键装配设备的运行参数实时采集、异常行为主动识别和健康状态持续评估。该场景打通设备层、网络层与业务层的数据壁垒，联通 SCADA 系统、MES 平台与 AI 分析引擎，不仅实现了对单体设备状态的可视化管理，也为整个产线提供智能协同与远程维护能力，为 PACK 装配工序向自动化、高可靠、低人力方向演进奠定基础。

（3）应用场景

在 PACK 装配环节，为提升设备管理效率与制造过程的可控性，构建了基于 SCADA-AIoT 平台的统一智能监测体系。首先，针对产线中各类关键设备，通过物联网技术实现互联互通，部署传感器采集温度、电流、压力、位移等运行参数，配合数据采集接口协议，实现对装配过程设备的实时在线监测，涵盖运行状态、负载情况、停机时间及异常报警等关键指标。所采集的数据实时上传至 MES 系统，并与 SCADA 平台联动，为操作人员提供可视化的设备运行界面与 OEE 分析工具。通过这一平台，企业能够准确掌握每台设备的运行效率、停机原因及生产瓶颈，为排产优化和维修决策提供数据依据，显著提升设备利用率与管理透明度。同时，基于多变量时间序列分析模型与

异常检测算法，系统可识别运行数据中的潜在故障信号，并结合设备故障树分析方法定位异常根因，实现对设备健康状态的动态评估与预警推送，避免因突发故障导致的产线中断。该系统支持远程设备监控与集中管理，实现跨区域、多产线的统一调度与智能诊断，增强企业在复杂生产环境下的运营韧性与响应能力，推动 **PACK** 装配过程向“少人值守、高效运行”的方向加速迈进。该方案的应用场景可以参考以下案例：

某大型电化学储能企业在电池 **PACK** 生产中通过在线运行监测系统结合传感器技术、数据分析和云计算，实现了对电芯上料、云母布自动安装和模组入箱环节的实时监控。系统通过收集现场数据，实时反馈生产状态并提供预警，帮助管理人员做出决策。在电芯上料环节，系统通过传感器监测电芯数量、位置和状态，当电芯不足时会自动触发警报，提醒操作人员及时补充。系统还分析上料速度和效率，为生产优化提供依据。在云母布安装环节，高清摄像头和传感器确保云母布的安装质量和位置精度，若发现安装偏差或质量问题，系统会停机报警，避免不合格品流入下一环节，同时记录云母布的使用情况，确保及时更换。模组入箱环节则使用重量传感器和尺寸检测装置，确保模组符合标准，若发现异常，系统会剔除不合格模组并通知质检人员处理。通过这一系统，企业能够及时发现问题并调整，避免产品质量缺陷，显著降低了单位产品成本和不良率，

提升了生产效率，并减少了人员与危险设备的接触，降低了事故发生风险。

该系统所采用的设备和技术包括：

1) 涂布、分条、模切、叠片、焊接封装等关键工序配置高精度 CCD 检测系统，实现产品尺寸和外观特征的在线自动检测，检测数据实时上传至 MES 系统进行质量追溯和分析。

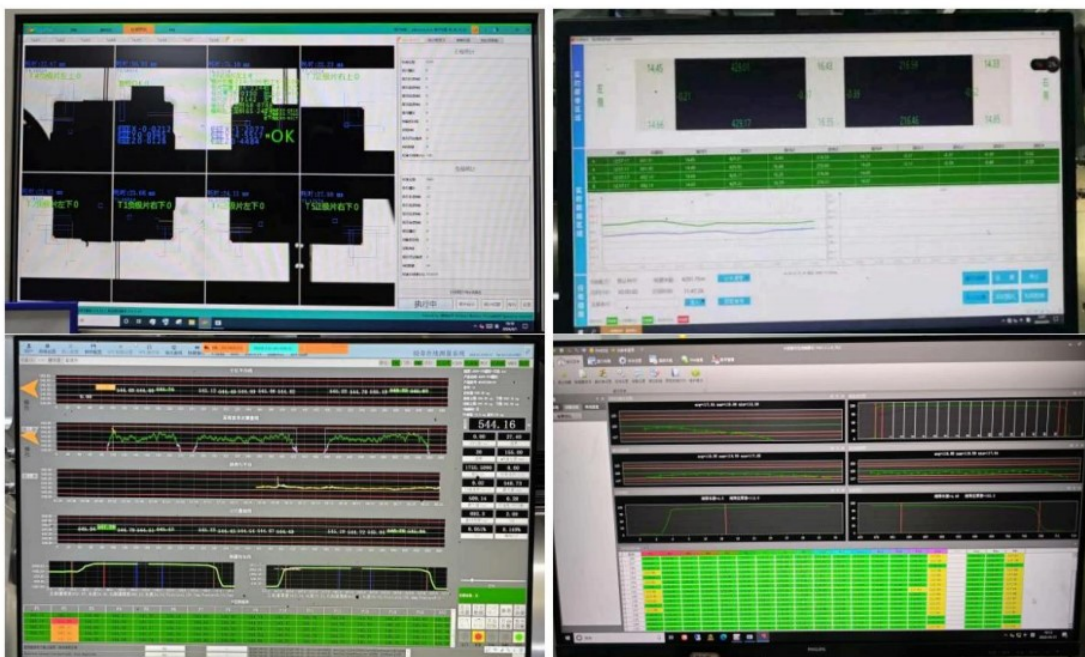


图 62 - CCD 尺寸和外观检测

2) 在焊接封装、注液、二封等核心工序部署短路测试仪、电池内阻测试仪和电子天平，实时监测产品短路情况、内阻参数和重量指标，所有检测数据通过工业接口自动传输至 MES 系统，实现工艺参数的闭环控制。



图 63 - 焊接封装、注液、二封工序检测

3) 采用奥瑞克精密测量系统对产品进行在线非接触式检测，系统配备高精度边缘检测算法和可定制化缺陷检测软件，测量数据实时同步至 MES 系统，具有检测速度快、稳定性好、成本效益高等优势。



图 64 - 精密测量

4) 部署智能机器视觉检测平台替代传统人工目检,通过图像识别算法实现缺陷自动判别和分类,检测数据自动上传 MES 系统,不仅提高了检测的一致性和可靠性,还能通过缺陷模式分析指导前道工序工艺优化,从源头提升产品质量。

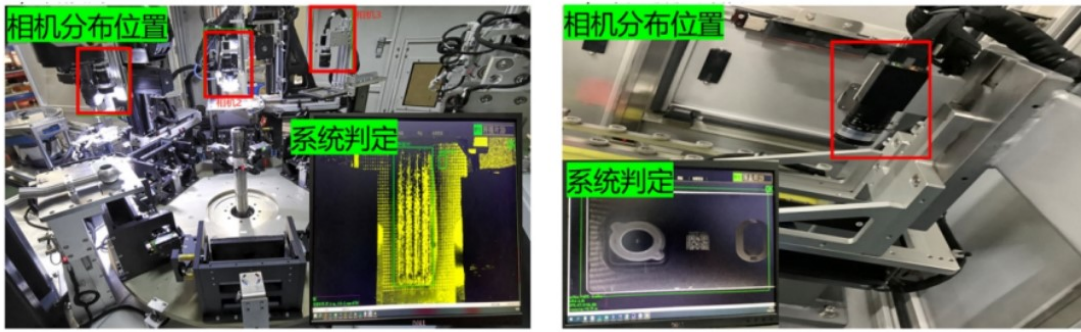


图 65 - 机器视觉检测

5) 建立基于 SPC 的在线质量分析系统，对原材料、过程参数、设备状态和检验数据进行实时统计过程控制，通过设定管控限值和异常规则实现质量预警，同时实施严格的工序检验防错机制，确保关键特性数据实时分析并生成 SPC 控制图，为质量改进提供数据支撑。

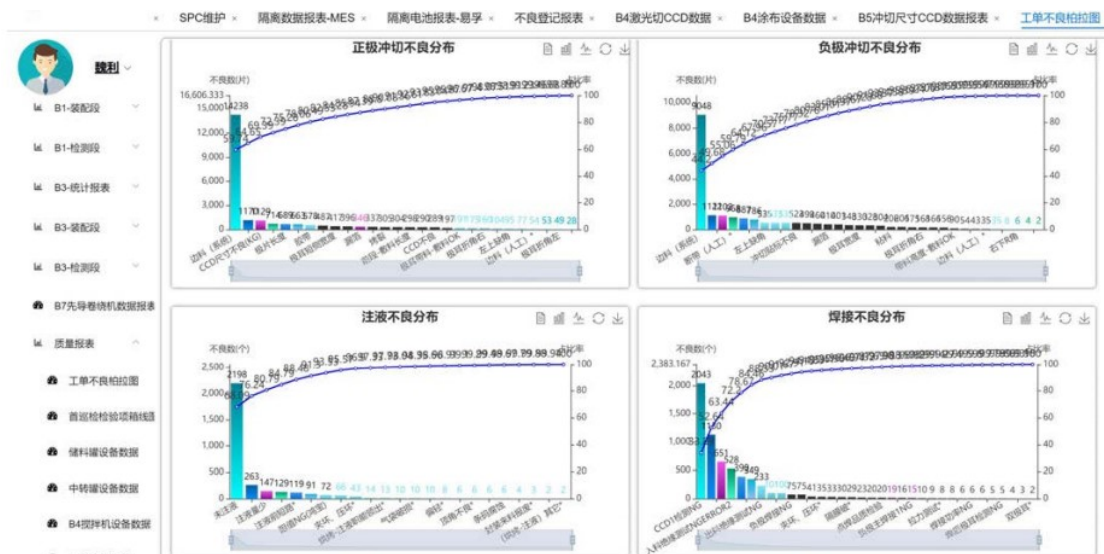


图 66 - 监测数据分析

4.2.8 设备故障诊断与预测

(1) 存在问题

在锂电池制造过程中，设备运行的稳定性直接关系到产线效率和产品质量。然而，当前设备故障处置流程响应缓慢，问

题发现依赖操作人员的经验判断，缺乏基于实时数据的异常预警机制。一旦出现故障，不仅会造成停产损失，还可能导致批次性品质风险。同时，设备运行指标普遍缺乏量化管理标准，异常信息难以及时获取，维修响应周期长、效率低。此外，大多数企业尚未建立系统性的故障知识库，导致重复故障反复发生、故障处理依赖“人脑经验”，制约设备管理水平提升。

（2）场景描述

设备故障诊断与预测场景旨在构建一套覆盖生产设备全生命周期的智能运维体系，通过“实时监测—智能诊断—预测维护”一体化方案，提升产线的稳定性与可持续性。在该场景中，通过 PLC 系统对关键设备的温度、电流、振动频率、速度等运行参数进行实时采集，并与 MAAS 系统打通，实现数据的标准化管理与统一存储。智慧运营中心通过可视化界面远程掌控全厂设备状态，结合 2PP 知识库实现标准化故障响应与推送，极大提升维修决策的科学性。系统还支持关键零部件寿命管理，提前预测风险部位，从被动维修转向主动运维。

（3）解决方案

为构建该场景的智能化基础，系统从 PLC 采集运行数据接入 MAAS 平台，通过边缘计算网关完成设备运行状态的实时判断。结合工业 CCD、纠偏传感器与高灵敏感应器，采集图像与物理参数数据，通过与 MES 系统、PLC 系统协同，实现多源

数据融合与设备状态闭环控制。在算法层面，构建基于随机森林与支持向量机的复合预测模型，动态评估设备部件寿命趋势与健康指数，结合设备运行工况推送预测性维护建议。同时，平台将设备报警日志、停机原因、维修记录结构化入库，依托 2PP 系统建立标准化维修知识库，实现常见问题的经验复用与快速处置。整体方案显著提升了设备可用率、降低了非计划停机风险，为高效稳定的智能制造提供有力支撑。该方案的应用场景可以参考以下案例：

某工厂引入大数据技术，通过对分切、卷绕、激光焊接等大部分设备易损件进行寿命在线采集，可以提前预测易损件状态，综合运用物联网、机器学习、故障机理分析等技术，建立故障诊断和预测模型，预测故障失效模式，为生产作业和设备管理人员全面掌握设备的使用寿命。通过该场景的建设完成，车间已经实现了设备的故障诊断与预测，并能够通过 PLC 采集到工位机并上传到 MES 系统进行记录，为设备的诊断提供了数据支撑，不仅降低了车间设备的故障率，也提高了生产效率。

| 序号 | 设备名称 | 所属工序 | 设备状态 | 停机原因 | 开始时间 | 截止时间 | 持续时间 (H) |
|----|------|------|------|------|---------------------|---------------------|----------|
| 1 | 卷绕机B | 卷绕 | 待机 | 待料 | 2023-08-29 09:47:23 | | |
| 2 | 卷绕机A | 卷绕 | 待机 | 待料 | 2023-08-29 09:46:48 | | |
| 3 | DCIR | DCIR | 待机 | 短停机 | 2023-08-29 09:46:06 | | |
| 4 | 卷绕机A | 卷绕 | 运行 | 吃饭 | 2023-08-29 09:45:48 | 2023-08-29 09:46:48 | 0.02 |
| 5 | 卷绕机B | 卷绕 | 运行 | 吃饭 | 2023-08-29 09:45:41 | 2023-08-29 09:47:23 | 0.03 |
| 6 | 卷绕机B | 卷绕 | 待机 | 待料 | 2023-08-29 09:44:51 | 2023-08-29 09:45:41 | 0.01 |
| 7 | DCIR | DCIR | 运行 | 短停机 | 2023-08-29 09:44:41 | 2023-08-29 09:46:06 | 0.02 |
| 8 | 卷绕机A | 卷绕 | 待机 | 待料 | 2023-08-29 09:44:10 | 2023-08-29 09:45:48 | 0.03 |
| 9 | 满焊1 | 周边焊 | 运行 | 短停机 | 2023-08-29 09:44:04 | | |
| 10 | 满焊1 | 周边焊 | 报警 | 其他 | 2023-08-29 09:43:57 | 2023-08-29 09:44:04 | 0.00 |
| 11 | 满焊1 | 周边焊 | 待机 | 其他 | 2023-08-29 09:43:11 | 2023-08-29 09:43:57 | 0.01 |
| 12 | 卷绕机A | 卷绕 | 运行 | 吃饭 | 2023-08-29 09:42:24 | 2023-08-29 09:44:10 | 0.03 |
| 13 | 卷绕机A | 卷绕 | 待机 | 待料 | 2023-08-29 09:42:00 | 2023-08-29 09:42:24 | 0.01 |
| 14 | 卷绕机A | 卷绕 | 运行 | 吃饭 | 2023-08-29 09:41:41 | 2023-08-29 09:42:00 | 0.01 |

图 67 - 设备状态

4.2.9 电池生产设备运行优化

(1) 存在问题

许多工作人员对设备操作和保养规程不熟悉，导致误操作、保养不到位或无法及时发现设备故障隐患；以上原因导致设备停机和故障率不断上升，电池生产线生产效率降低，进而导致设备维护成本不断飙升。

(2) 解决方案

为提升电池生产设备的运行效率和管理水平，企业利用MES系统将设备管理的所有关键数据全面数字化，涵盖设备台账、备件管理、维修记录和保养计划等。基于这些数据，构建了以马尔可夫过程为基础的设备状态转移模型，能够动态预测设备从健康状态到故障状态的概率，为维护周期安排和备件采购提供科学依据，从而有效减少突发故障发生率，降低维护成

本。

此外，推动建立标准化的设备点检和维护保养流程，明确操作规程和关键检查项，规范设备日常管理。通过系统化培训和数字化工具支持，提高工作人员对设备操作和保养的熟悉度，减少误操作和漏检风险，保障设备稳定运行，进而提升电池生产线整体的生产效率与设备利用率。

(3) 应用场景

某公司上线了资产管理综合平台，采用信息化手段对固定资产进行条码管理，结合计算机、网络及条码识别技术，全面实现了固定资产的标准化。系统涵盖资产信息的新增、修改、转移、调拨、退出、借用、归还、维修、保养、检测等功能，内置折旧算法，自动计算资产的原值和净值，确保账物相符。管理者可以清晰地掌握资产的数量、原值、净值等信息，彻底改变了传统的资产管理模式，确保资产管理的高效性与准确性。系统实施后，车间通过信息化管理设备的维护、保养和点检，减少了设备管理和维修的工作强度，提升了工作效率和质量，降低了人工成本。这一智能化改造有效优化了资产和设备配置，提升了车间设备的利用率，推动了工厂产能的提升，并显著改善了经济效益。

4.2.10 电池质量智能在线检测

(1) 存在问题

在电池生产过程中,传统质量检测手段主要依赖人工方式,存在检测效率低、易受主观判断干扰、误判率高等问题,尤其难以适应当前锂电池产业大规模、连续化、高精度的制造需求。人工检测方式往往滞后于缺陷发生时点,无法实现对质量问题的快速响应与动态管控。此外,不同工序之间的检测标准与数据系统未打通,形成“信息孤岛”,造成质量管理难以形成闭环;而大批量生产背景下,质量波动一旦扩散,将对电芯一致性、安全性和后续组装造成严重影响。

(2) 场景描述

电池质量智能在线检测场景是指在生产全过程中,集成部署智能化检测设备与多模态感知系统,形成从缺陷识别、趋势预警到跨工序反馈的全流程质量感知体系。该场景以关键工序(如涂布、辊压、卷绕、焊接、封装)为监控节点,部署具备自学习能力的 AI 视觉检测系统与高精度传感器,实现对极片面密度、厚度、极耳位置、电芯尺寸等参数的毫秒级捕捉。系统通过边缘计算终端初步处理图像与结构化数据,并联动 MES 平台完成实时质量数据记录与可视化追踪。同时,基于检测数据构建的轻量化质量预测模型,可动态识别趋势性偏移和早期缺陷隐患,实现“检测-预警-干预”的质量前移策略,提升产品一致性与良品率。

(3) 解决方案

采用智能缺陷分析模型与多变量趋势预测引擎，利用 AI 算法对实时采集的关键质量参数进行建模分析，识别波动趋势与潜在异常。在系统检测出异常趋势时，能够通过闭环控制逻辑联动工艺系统，如自动调整涂布厚度、辊压张力或焊接电流等参数，进行工艺补偿，防止不良品扩散。同时，结合历史数据与生产批次特征，系统可进行质量画像建模，对未来产品质量趋势进行精准预测，为产线调度与参数配置提供优化建议。此方案已在多家锂电池生产企业部署，显著提升了检测效率与准确率，实现了从“事后检测”到“过程预控”的质量管理转型，为储能电池行业构建可持续、高一致性的质量保障体系提供了强有力的技术支撑。该方案的应用场景可以参考以下案例：

某企业在电池 **Pack** 环节部署的智能在线检测系统在电芯上料、云母布自动安装和模组入箱等关键环节发挥了重要作用。具体应用如下：在电芯上料环节，系统通过高清摄像头和传感器实时监测电芯的状态，确保电芯的数量、位置、方向及质量合格。系统能够自动检测电芯排列是否整齐，并在发现异常时立即发出警报并停止传送带，确保合格电芯进入下一生产环节。在云母布自动安装环节，系统利用机器视觉技术监控安装过程，实时检测云母布的位置、对齐度及有无褶皱或破损等问题。一旦发现偏差，系统会触发停机机制并提示操作人员进行调整，确保云母布精准平整地安装，提高了产品质量。在模组入箱环

节，智能在线检测系统通过激光传感器和三维视觉技术全面检测模组的尺寸、重量、外观等关键参数，并确认箱体规格和状态，确保模组和箱体符合标准。若出现不合格情况，系统会发出警报，避免质量问题和安全风险。通过智能在线检测系统的应用，电池 Pack 生产中的各环节不仅提高了生产效率，还有效降低了不良品率，优化了质量控制，促进了生产的智能化和自动化，提升了整体生产效益。

| 序号 | 检验项编码 | 检验项名称 | 业务类型 | 检验设备 | 检测类型 | 检测项目 | 单位 | 备注 | 操作 |
|----|----------|-------|------|---------|------|------|----|----|-------|
| 1 | Qitem001 | 直流耐压 | IPQC | 绝缘耐压测试仪 | 逻辑型 | 外观 | - | | 编辑 删除 |
| 2 | Qitem002 | 绝缘电阻 | IPQC | 绝缘耐压测试仪 | 计量型 | 性能 | M | | 编辑 删除 |
| 3 | Qitem003 | 接地电阻 | IPQC | 绝缘耐压测试仪 | 计量型 | 性能 | um | | 编辑 删除 |
| 4 | Qitem004 | 直流耐压 | IPQC | 绝缘耐压测试仪 | 计量型 | 性能 | g | | 编辑 删除 |
| 5 | Qitem005 | 绝缘电阻 | IPQC | 绝缘耐压测试仪 | 计量型 | 性能 | Ω | | 编辑 删除 |
| 6 | Qitem006 | 接地电阻 | IPQC | 绝缘耐压测试仪 | 计量型 | 性能 | Ω | | 编辑 删除 |
| 7 | Qitem007 | 直流耐压 | IPQC | 绝缘耐压测试仪 | 计量型 | 性能 | g | | 编辑 删除 |
| 8 | Qitem008 | 绝缘电阻 | IPQC | 绝缘耐压测试仪 | 计量型 | 性能 | Ω | | 编辑 删除 |
| 9 | Qitem009 | 接地电阻 | IPQC | 绝缘耐压测试仪 | 计量型 | 性能 | Ω | | 编辑 删除 |
| 10 | Qitem010 | 接地电阻 | IPQC | 绝缘耐压测试仪 | 计量型 | 性能 | Ω | | 编辑 删除 |

图 68 - 质量检验项目图

4.2.11 电池质量精准追溯

(1) 存在问题

电池生产的质量涉及采购、制造、售后多个场景，业务数据零散分布在多个系统，彼此之间难以关联，导致质量追溯路径长、效率低；产品质量追溯依赖纸质记录，导致追溯数据不及时、数据丢失和不准确等质量追溯问题；质量检验在线下进行，无法实时获取产品生产过程质量数据，无法及

时进行过程质量改进，也无法通过数据开展质量分析和改进。

（2）解决方案

在电池质量精准追溯方面，首先通过整合 SAP、MES、QMS 和 LIMS 等多个业务系统，构建覆盖采购、制造、检验和售后全流程的信息联动平台。结合物联网终端设备及条形码、二维码技术，实现对电池生产中各类关键物料和产品的唯一标识与实时数据采集。这样，能够保证从原材料到成品的每一个生产节点都有准确的数据支撑，避免传统依赖纸质记录带来的数据丢失和追溯延迟问题，提升追溯的时效性和准确性。

为解决多系统数据孤岛和业务信息零散的问题，构建基于图数据库的质量追溯知识图谱成为关键。通过将原材料、生产工序、设备运行状态、检验结果等多源异构数据作为节点，工艺流程、供应链关系、质量合格率等作为边进行高效关联管理，显著缩短了质量追溯路径。该知识图谱支持灵活查询和多维度分析，使质量管理人员能够快速定位问题根源，提升质量事件的响应速度和处理效率。

在制造环节，MES 系统与订单信息、生产工序数据、检验数据实现紧密绑定，形成贯穿生产全过程的质量追踪链条。通过实时采集并分析关键环节的质量参数和检测结果，系统能够对异常情况进行快速反馈和过程改进。尤其是对电芯、隔膜、正负极材料等核心原材料的来源和品质进行实时追踪，确保每

批原材料均符合质量标准，从而保障电池最终产品的稳定性与一致性，增强产品的市场竞争力。

此外，通过数字化追溯体系的建设，还支持售后服务环节的质量管理。追溯数据能够为产品故障分析、召回决策和质量改进提供有力支撑，推动企业实现从生产端到服务端的闭环质量管理。结合智能分析和可视化工具，企业可以持续优化供应链和制造流程，提升整体质量管理水平，满足电化学储能行业对产品安全和可靠性的严格要求。

(3) 应用场景

某公司通过条码来对电池 PACK 智能组装车间多个生产环节进行质量追溯通过实施精准追溯，企业能够在生产过程中及时发现并处理质量问题。在电芯上料环节，如果发现电芯性能参数异常，可以追溯到具体的电芯批次，及时将其从生产线上剔除。

4.2.12 储能产品质量优化

(1) 存在问题

质量分析数据多为单一来源，缺乏现场多工序、多产线的数据采集，尤其在涂布、叠片等关键工艺环节，质量数据与生产工艺数据无法有效结合，影响了电池产品在制造过程中的质量水平。通过整合全流程的质量数据，实施全面质量管理，利用大数据和智能分析工具对生产过程中的每个环节

进行综合统计分析，从而为持续改进提供可靠的数据支持，提升电池产品的整体质量。

（2）解决方案

针对储能产品质量优化，首先通过整合 LIMS、QMS、SPC 以及在线质量监测系统，实现质量管理的多层次、全流程覆盖。从原材料送检、过程检验、不良判定到后续不良处理，每一步均实现数字化闭环管控，确保质量信息实时透明，提升企业对质量问题的响应速度和处理效率。

在生产关键环节如电芯涂布、叠片和封装过程中，部署实时质量数据采集系统，结合产线 MES 系统，监控并记录涂布厚度、层间间隙、封装完整性等关键指标。通过对异常数据的自动标定与报警，企业能够快速识别质量偏差，及时启动溯源流程，精准定位异常环节，支持多维度质量改进措施的实施，保障产品的一致性和可靠性。

基于采集的多源质量和工艺数据，构建多变量统计过程控制（SPC）模型，通过相关性分析与异常检测，强化早期质量预警能力。利用主成分分析（PCA）和偏最小二乘回归（PLS）等降维与建模技术，深入解析工艺参数对关键质量指标的影响规律，为工艺优化提供科学依据，辅助调整涂布速度、温度控制、压力参数等关键生产条件，最大限度地减少质量波动。

同时，MES 系统结合机器学习算法（如随机森林和支持向

量机)开展质量数据挖掘和分析,支持直通率分析、柏拉图分析等工具应用,实现质量异常模式的精准识别与分类。基于此,形成闭环的质量优化决策支持体系,指导生产调整和工艺改进,促进电池产品整体质量水平的持续提升,助力储能企业实现高效、智能的制造管理和竞争力增强。

(3) 应用场景

某工厂在车间部署了智能装备并与MES系统集成,通过工位机实时监控设备状态和工艺信息,并将数据上传至MES系统。系统能够及时传递质量不合格的数据,并通过设备的声光报警系统发出警报,启动质量通知流程,通知质量人员进行异常确认。质量人员随后会联系生产、工艺和设备工程师处理现场问题,明确异常原因(如物料、操作、工艺参数等)并对相关参数或状态进行优化调整。MES系统建立了检验项目和质量知识库,能够根据不同工序自动匹配检验方案,质检员收集数据后,质量工程师通过数据分析和质量机理分析技术,识别产品质量影响因素,进行缺陷分析预测和优化决策。

4.3 工厂建设

4.3.1 储能核心工艺环节数字化设计

(1) 存在问题

在电化学储能工厂建设阶段,受限于传统CAD与二维流程设计工具,难以对极片涂布、电芯注液、化成老化等核

心工艺环节进行精准建模与动态仿真，导致车间物流路径、设备排布和能源介质布线存在效率瓶颈，难以及时发现产线瓶颈与安全隐患，制约了储能制造流程的精益化与柔性化设计优化。

(2) 场景描述

在储能核心工艺环节数字化设计场景中，首先采用仿真建模与数字孪生技术，可对极片制造、模组装配、电池检测等复杂工序进行精细化建模与动态仿真优化。

其次通过构建工艺知识图谱与参数化布局模型，实现储能工厂内部物流路径、能源接口、关键设备排布的智能评估与实时调整，提升产线设计的科学性与后期扩展的柔性化能力，有效规避能耗冗余与工艺瓶颈。

(3) 解决方案

对生产进度、生产达成情况、质量、设备、操作员进行可视化管理，对于产品售后产生的质量问题，能够提供详细的追溯信息。数字化系统实时监控储能核心工艺环节，通过生产计划管理、原材料管理、制程质量控制点管理、在制品管理、设备管理等，实现产品全制程监管。并根据质量需求将相关数据整合到 SPC 系统中，进行实时分析，将异常点上传至系统，再由系统智能识别后将结果发送给各工序负责人员，工程技术人员可根据系统实时数据进行分析，了解异常点变异的全过程，

从而实现过程信息化控制。该方案的应用场景可以参考以下案例：

某电化学储能龙头企业基于大数据、知识图谱与工业机理建模技术，将极片制备、电芯装配、模组封装等核心制造环节中的工艺经验与操作规范沉淀为可复用的数据资产和机理模型，并融合到数字化设计流程中，推动制造流程的模型驱动与参数化管理，对于后续提升产能、质量、设备利用率方面起到了关键的作用，并减少了大量的人工数据整理及纸张的使用。该系统采用的关键装置和技术如下：

1) 通过将电芯注液、化成老化等复杂工艺的软件化封装，固化操作流程并实现参数驱动执行，显著提升作业效率，降低了人为干预带来的数据错误，确保了工艺数据的精准性和实时性；

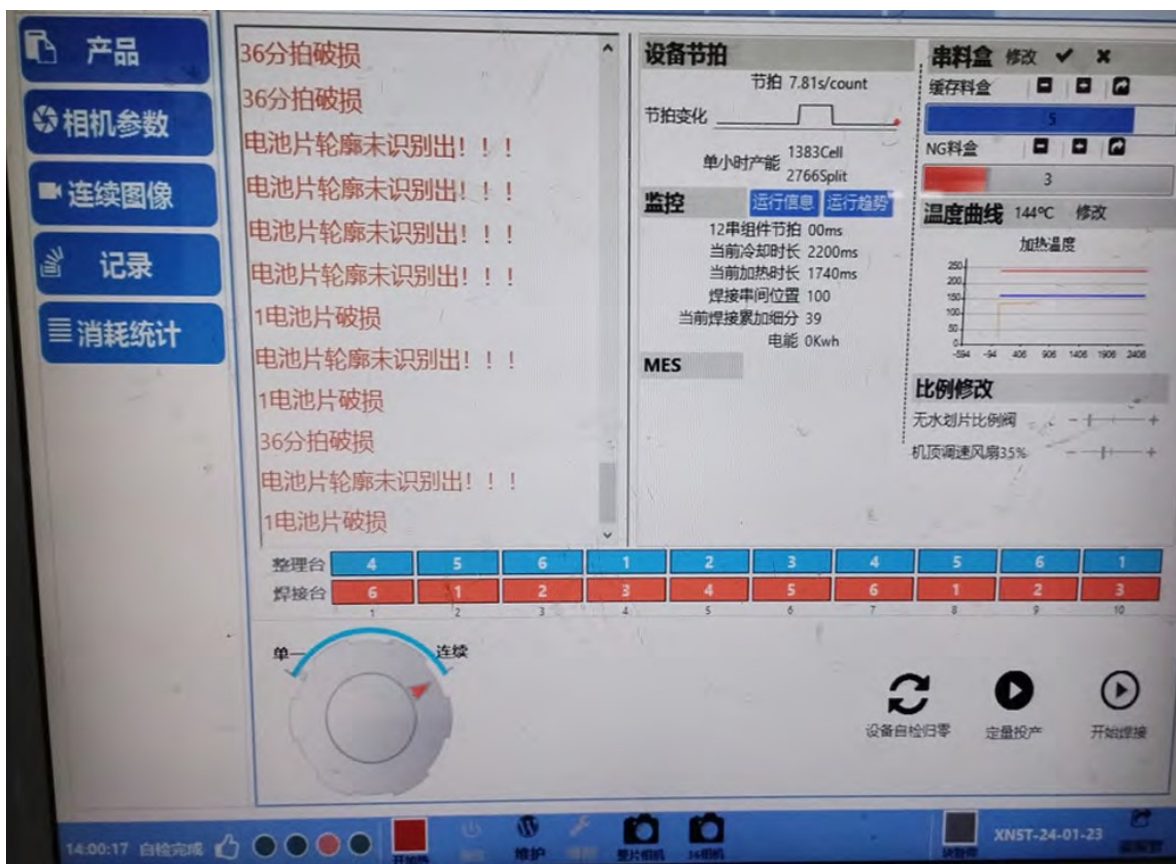


图 69-电池片制备流程软件化封装

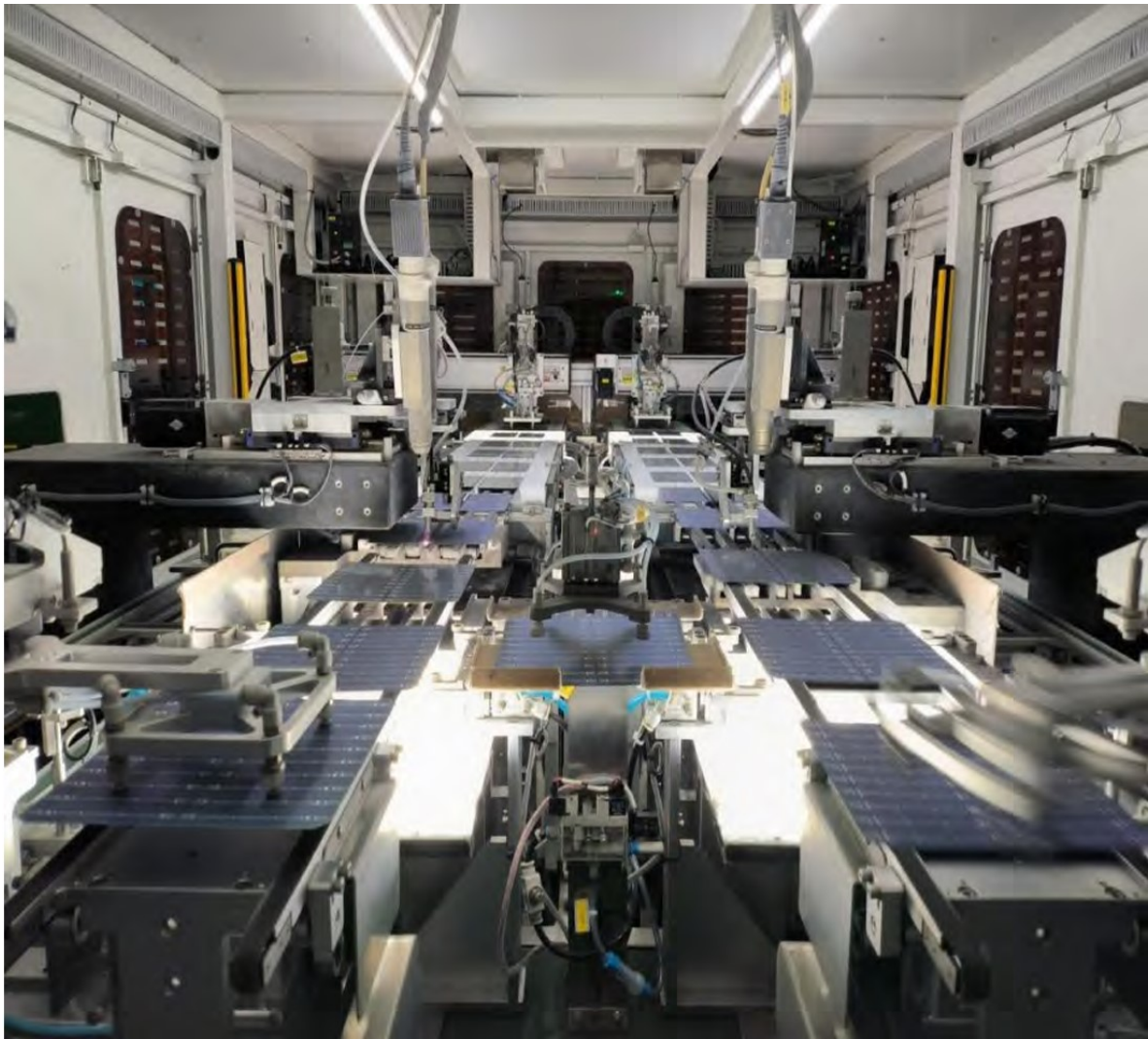


图 70-电池片智能测试平台

2)通过电芯制造与模组集成全过程的数字建模和虚拟验证,提升了企业整体智能制造水平,推动从经验制造向数据驱动制造的转型;

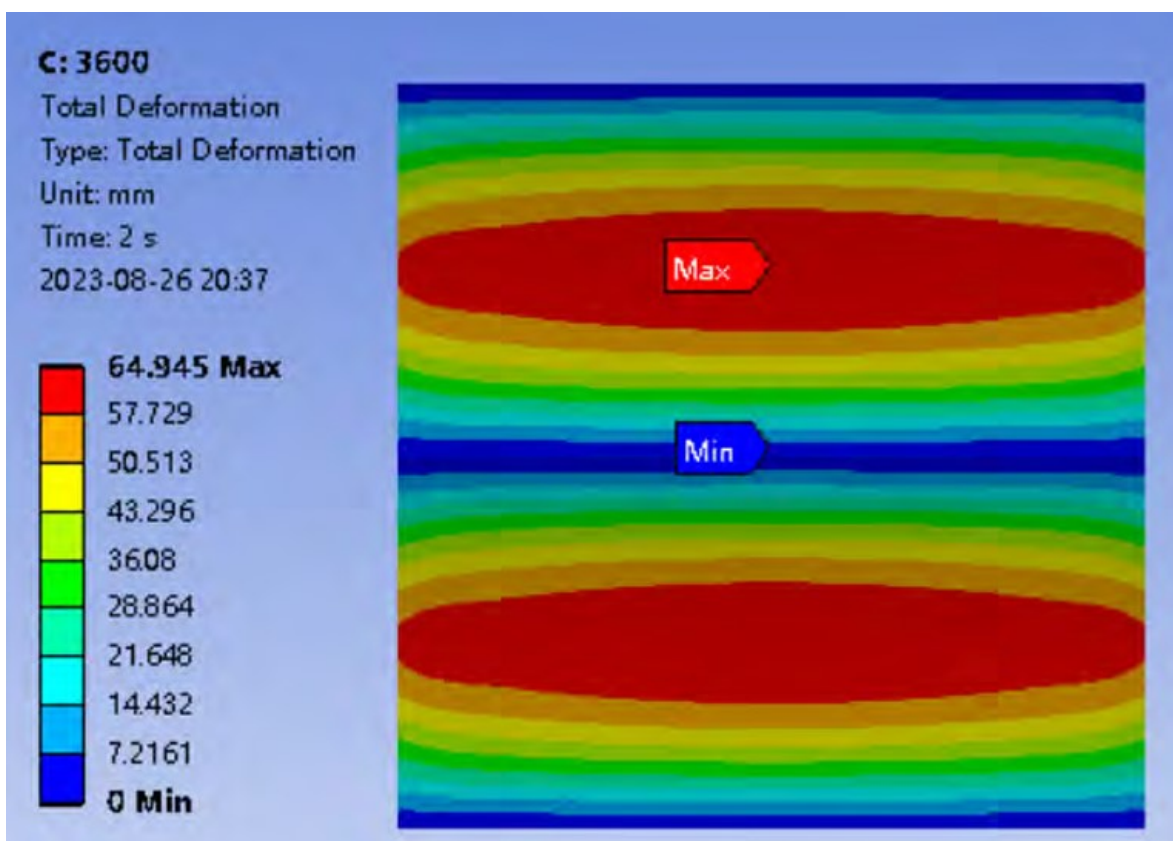


图 71-电池制造组件载荷模拟仿真

3) 基于数字孪生平台构建储能电池生产线的虚拟模型，实现对电芯成分分布、温控响应、化学反应路径等关键节点的动态仿真与优化，支持虚拟调试与工艺预演。通过对历史质量数据与实时生产数据的融合分析，实现关键参数的智能调整与风险预测，大幅减少试错成本与能耗，实现质效双提升。

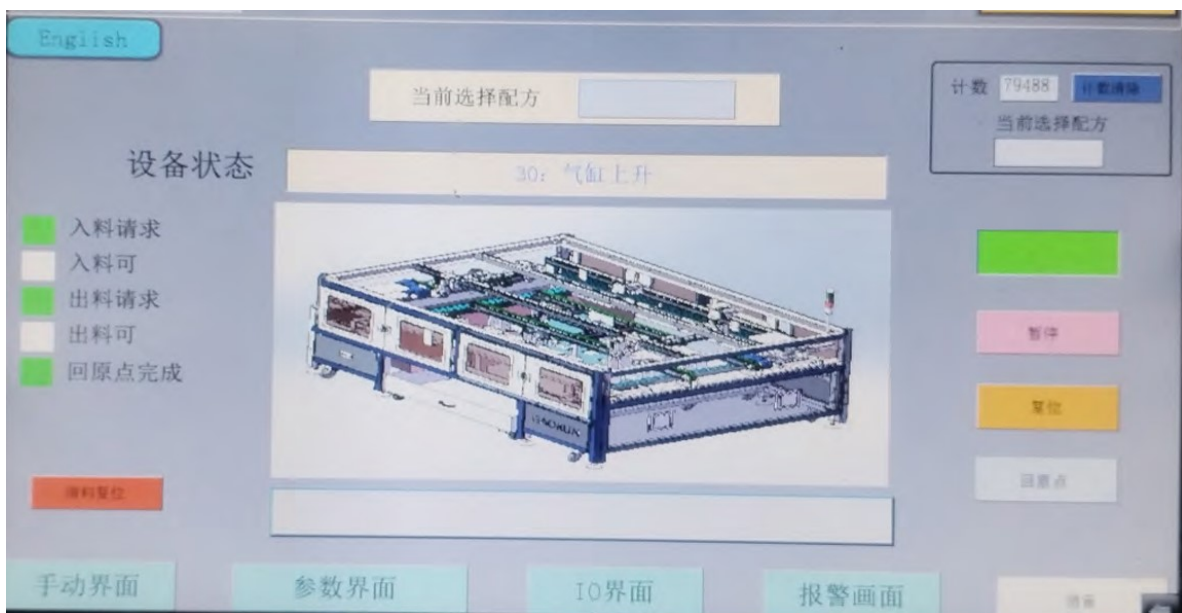


图 72-机台数字孪生

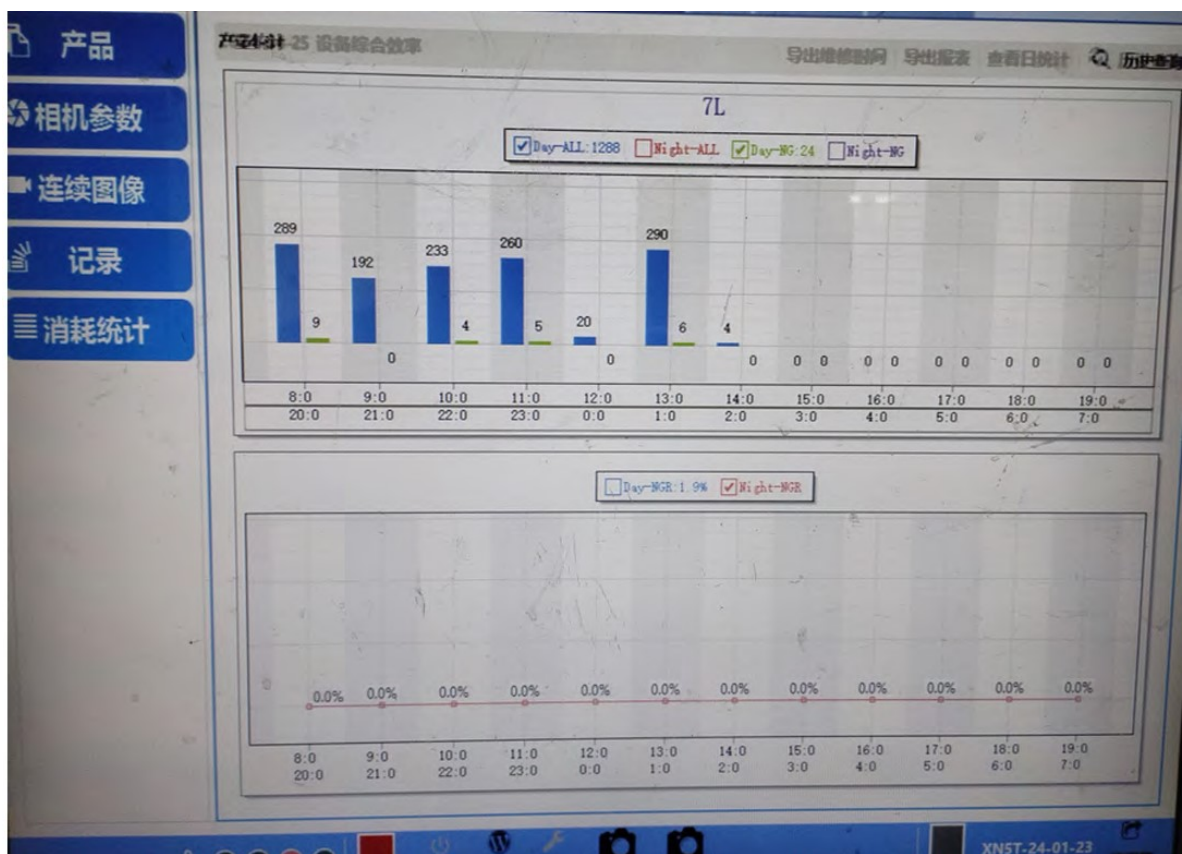


图 73-电池生产过程数据平台

4.3.2 储能电站数据湖治理与流通

(1) 存在问题

在储能电站与制造企业中，BMS、电能质量监测、EMS、SCADA 等系统间数据标准不统一、接口协议多样，导致电池运行数据、能效指标与维保日志等形成“烟囱式”存储，数据孤岛问题突出。缺乏面向储能行业特性的统一数据治理框架和高效流通机制，限制了全生命周期分析、故障预测与碳资产管理等高级数据应用的落地实施。

(2) 场景描述

在储能电站数据湖治理与流通场景中，首先构建面向电化学储能电站的云边协同数据湖架构，集成 BMS、EMS、PCS、温控系统等多源异构数据，实现从数据采集、边缘处理、云端分析到业务洞察的全链路数据闭环。

其次依托 AI 算法平台开展电芯状态预测、热失控预警、系统寿命评估等高价值分析，为运维策略与调度规划提供数据支撑。

最后，以可信数据空间为基础，构建覆盖原材料采购、电芯制造、系统集成、售后维护的全链条数据生态，推动企业内部标准化数据治理，增强与供应商、客户、电网平台等产业链主体之间的安全可信数据交换，释放数据在能效优化、质量追溯、碳资产管理等场景下的业务价值。

（3）解决方案

建立物联网络，为智能工厂的总体设计、工艺流程及布局建立数字化模型，实现规划、生产、运营全流程数字化管理。通过工厂内部互联互通网络架构，实现设计、工艺、制造、检验、物流等制造过程各环节之间，以及与制造执行系统（MES）和企业资源计划系统（ERP）的高效协同与集成，建立全生命周期产品信息统一平台。该方案的应用场景可以参考以下案例：

某龙头储能企业通过搭建私有云与数据湖系统，打通了从PCS、EMS、BMS到储能集控平台的全域数据流，实现了企业内部和上下游间的数据高效治理与智能流通。该企业通过建立私有云，利用历史大数据，构建可信数据空间，实现了企业内部数据的有效治理和分析利用，推动了企业间数据的互联互通，充分释放了企业内部丰富数据的宝贵价值。

该系统采用的关键装置和技术如下：

1) 搭建智能化数据集成平台，实现储能系统中温控系统、消防系统、状态监测系统等设备的全互联，推动设备级数据闭环反馈；

2) 构建边缘处理+云端存储架构的数据湖体系，支持各类高频实时数据的本地快速处理与关键指标的云端沉淀，支持能效趋势分析与调度策略优化，提升储能系统经济性；



图 74-数据湖治理平台

3) 依托 AI 算法平台在云端训练故障诊断、容量退化预测等模型，并部署至边缘侧，实现对储能电站老化状态、效率变化等情况的预测性维护；

4) 集中管理企业各类原始与派生数据，整合材料追溯、电芯批次性能、项目运维记录等全生命周期数据，提升数据可用性与安全等级，加快决策支持响应速度。

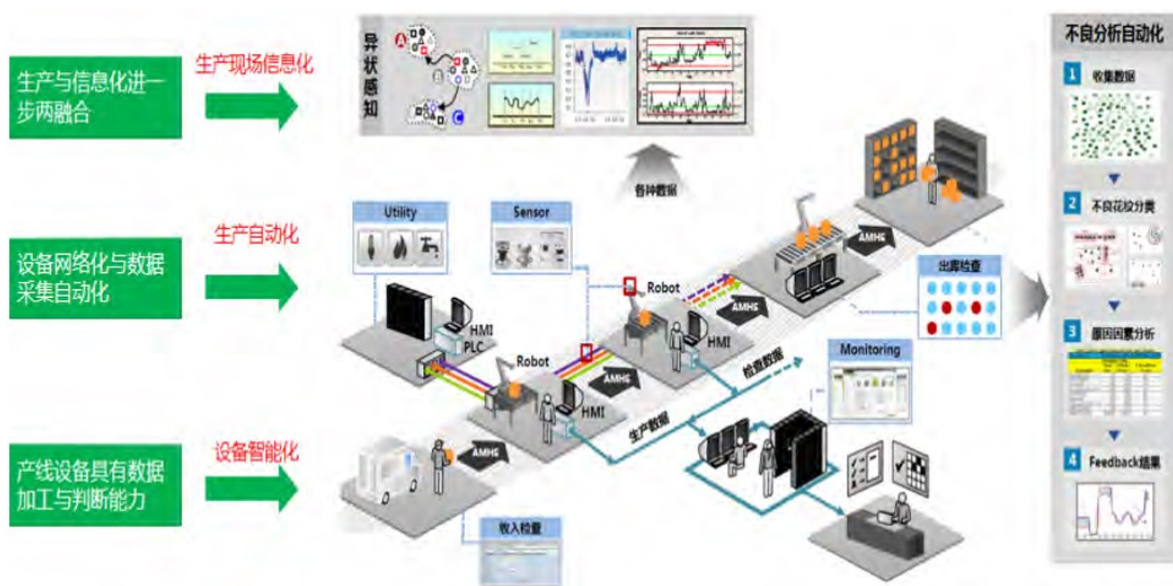


图 75-原始与派生数据利用流通流程

4.3.3 工业数字基础设施集成

(1) 存在问题

在电化学储能制造现场，产线设备种类繁多且来源多元，如涂布机、激光焊接设备、自动搬运机器人等未形成统一接入标准，难以实现设备间互联与数据协同，导致生产节拍不一致、工艺衔接不流畅。传统工业网络在业务发展过程中，不断有新设备提出接入需求，但网络链路承载能力不足，且升级扩容投资高、部署难度大。此外，制造环节中 OT 与 IT 系统融合薄弱，工业控制网络安全风险突出，存在恶意攻击、系统瘫痪等可能，严重影响储能产线的连续性与安全性。

（2）场景描述

在工业数字基础设施集成场景中，首先构建 5G（无线）+工业 PON（有线）的融合网络架构，5G 支撑移动设备（如 AGV、巡检机器人）的低时延接入，工业 PON 保障固定设备（如涂布机、焊接机）的高带宽稳定连接，实现全要素互联。

其次，利用 IPv6、物联网等技术实现工厂内、外网以及设计、生产、管理、服务各环节的互联，支持工厂内、外网的设备数据贯通与远程运维协同。

最终，依托工业互联网平台整合储能工厂内设备层、控制层与管理层的数据链路，打通涂布、焊接、注液、化成老化、模组组装等关键工艺设备之间的信息孤岛，整合设备层、控制层与管理层数据，为产线运行监控、能源优化与质量分

析提供数据支撑。此平台支持边缘智能部署与远程运维，提升储能系统设备的稳定性与维护效率。构建覆盖终端接入、通信协议、数据交互的纵深防御体系（如设备认证、流量加密、入侵检测），防范数据泄露与系统中断风险，加强对控制系统与工业通信协议的安全防御能力，保障储能工厂核心生产系统的连续稳定运行。

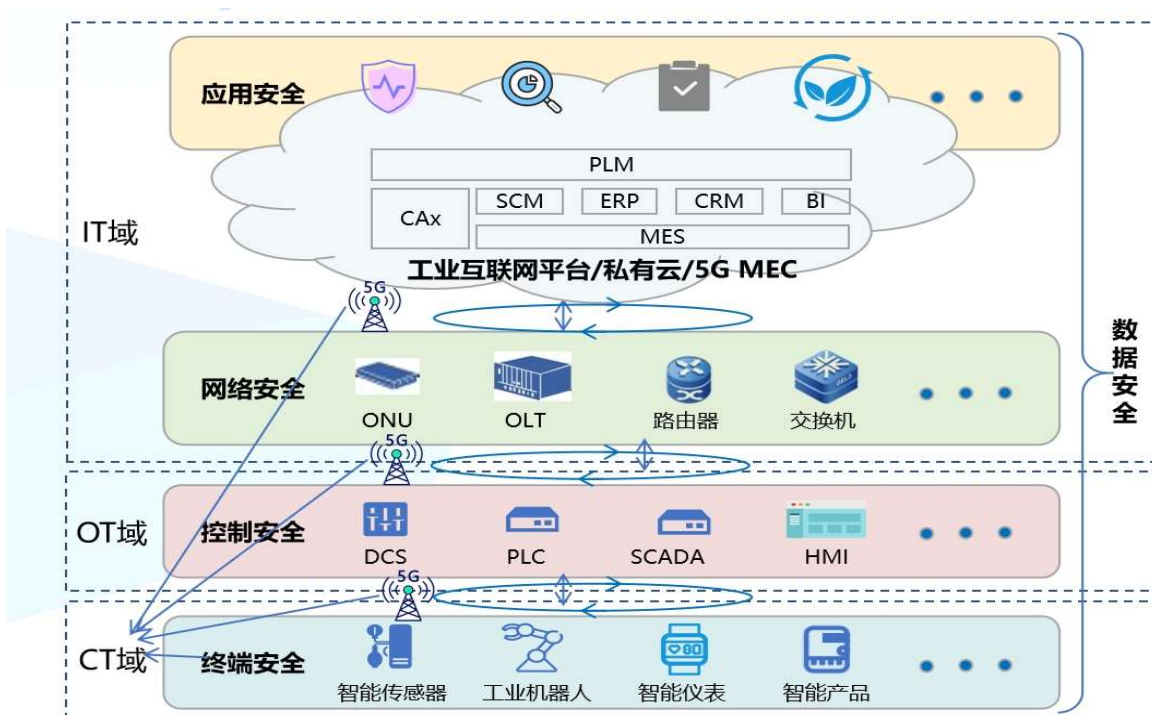


图 76-网络信息安全防护体系

(3) 解决方案

建设电化学储能数字基础设施，实现工厂车间与工厂、工厂与集团之间的不同层次、不同类型的涉笔与系统间的网络连接。在合适的生产单元、工序中进行智能化操作改造，最大限度地利用机械臂、码垛机、巡检机器人、无人引导小车、自动

化仓储、定量装车等装备，替代人的体力劳动，提高生产运行的工作效率和质量。该方案的应用场景可以参考以下案例：

某锂电池龙头企业在智能制造基地全面升级数字基础设施，通过工业互联网平台实现设备层、控制层与管理层的纵向打通及横向协同，关键设备数控化率和关键设备数控设备联网率提升到 100%，通过机器换人，大大减少了人员人工的使用量，可进行人机智能协作，生产效率提升从提升近 20%。设备 OEE 提升 5%，并有效提升产线柔性与安全稳定性。

该系统采用的关键装置和技术如下：

1) 通过工业互联网网络低时延特性，实现协作机器人、智能物流车的实时调度，结合工业 PON 稳定传输巡检机器人高清视频流，支撑极片搬运、模组传输与安环巡检全流程自动化，提升了效率并降低人工作业强度；

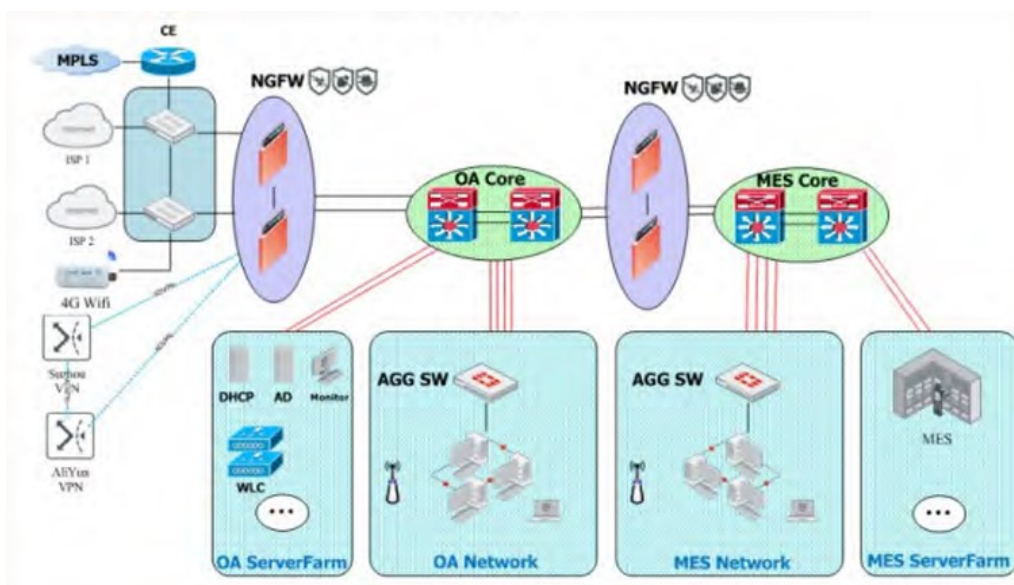


图 77-网络基础设施架构

2)建设多系统融合的智能安防平台,融合电池仓火灾预警、视频监控、门禁系统,提升危险工艺区域的安全监管能力;



图 78-AI 人脸安防门禁系统



图 79-5G 高清监控系统

3) 通过工业互联网平台实时采集注液压力、电芯温度等参数，结合边缘计算实现工艺异常预警，并推送优化建议至控制系统，辅助人工或自动调节；

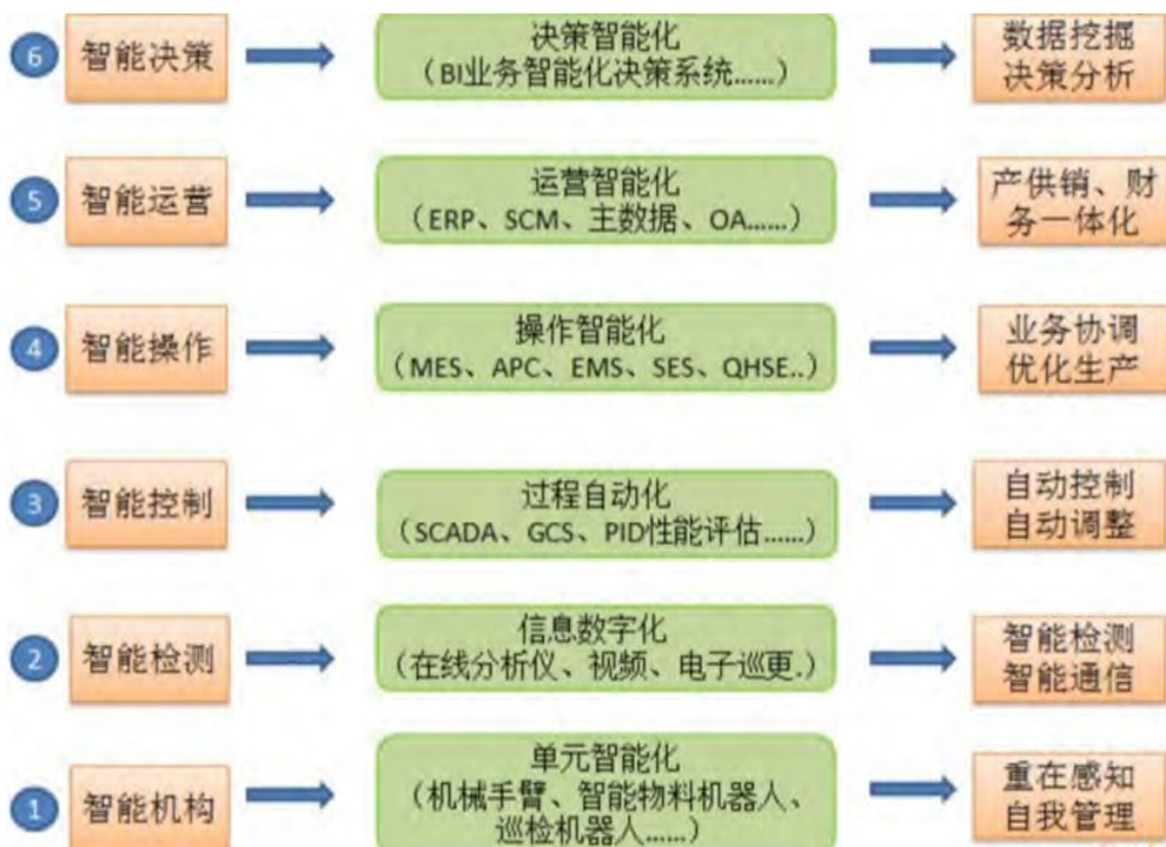


图 80-工业互联网平台架构



图 81-工业互联网数字基础设施集成

4) 搭建覆盖电力能源管理、关键设备状态监控、环境安全

检测等子系统的统一管理平台，打通信息流、控制流和能源流，提高工厂协同与调度效率；



图 82-智慧能源监控系统

5) 依托专家知识库与大数据平台，构建化学反应失控特征库与设备故障模型，预判设备运行风险，系统自动推送工单与处理建议，提升响应效率与生产韧性。

4.4 产品研发

4.4.1 储能核心子系统数字化研发

(1) 存在问题

当前电化学储能产品在 BMS、EMS、PCS 及电池舱热控与消防等核心子系统的研发中，仍存在“经验驱动+文档堆积”的传统模式，缺乏面向复杂系统的模型化、参数化和协同化研发工具，导致设计周期长、版本迭代慢、数据一致性差。产品全生命周期的图纸、模型、配置等信息分散在多个系统中，缺乏统一的 PDM/PLM 平台支撑，设计、仿真、

制造之间协同效率低，影响跨专业集成设计效率。尤其在多子系统集成调优阶段，因缺乏数字化变更影响分析与设计联动机制，设计错误难以及时发现，反馈滞后，制约储能系统在安全性、可靠性与经济性上的持续优化。

（2）场景描述

在储能核心子系统数字化研发场景中，首先通过集成电池建模工具、多物理场仿真平台与全流程 PLM 系统，实现从正负极材料开发、电芯结构设计、模组 PACK 集成到储能系统级控制的全链条研发数据贯通与版本管理，构建储能产品全生命周期协同设计体系。

此外，在系统设计阶段即考虑 BMS/EMS 的传感器布局与算法需求，为后续实现状态监测、寿命预测等功能奠定基础，强化安全管理能力，提升系统运行稳定性与经济性。

（3）解决方案

使用数字化工具来模拟电化学储能产品的性能，如模拟光伏板的光吸收、热耦合和电流产生以确定最佳布局和材料选择，提高储能系统的性能。使用拓扑优化、参数优化和形状优化等数学算法，在产品研发过程中自动搜索最优解，实现储能组件的性能和成本效益优化。该方案的应用场景可以参考以下案例：

某电化学储能企业通过现代化设计工具与一体化平台，显著提升了锂电池及其系统的研发效率与多部门协作能力。面向

电芯、模组与系统级产品的数字化研发流程，节省了大量重复建模和反复修改的时间，工程师之间的协同能力显著增强，在缩短研发周期与控制成本方面整体效能持续提升。

该系统采用的关键装置和技术如下：

1) 使用仿真工具建立电芯三维几何模型，并赋予真实的材料热学与电学属性，为电化学反应建模与设计优化提供基础支撑；

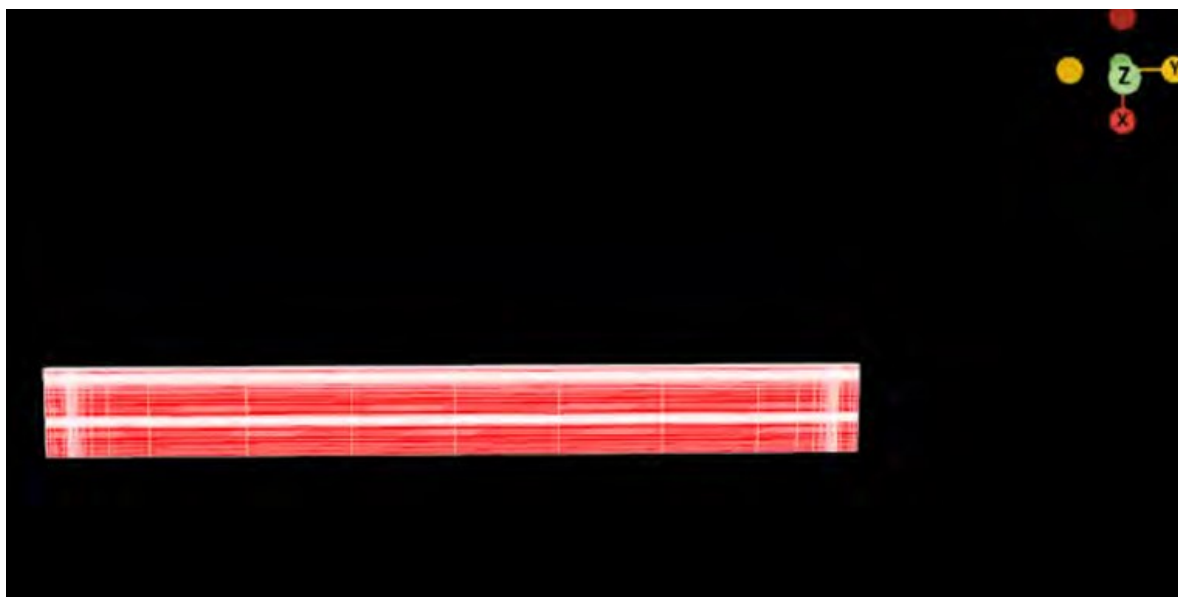


图 83-电池几何模型

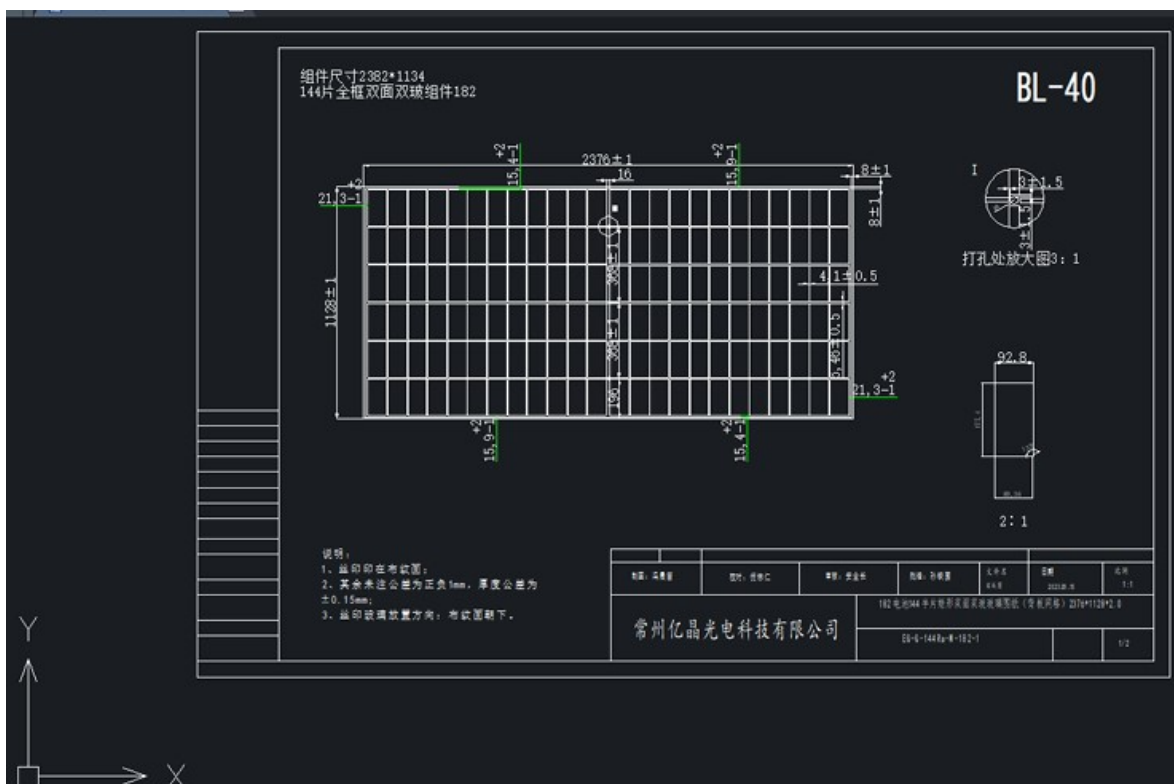


图 84-电池设计建模

2) 模拟电芯在不同倍率充放电与工况下的温升、热分布及内阻变化, 评估其性能瓶颈并优化关键参数;

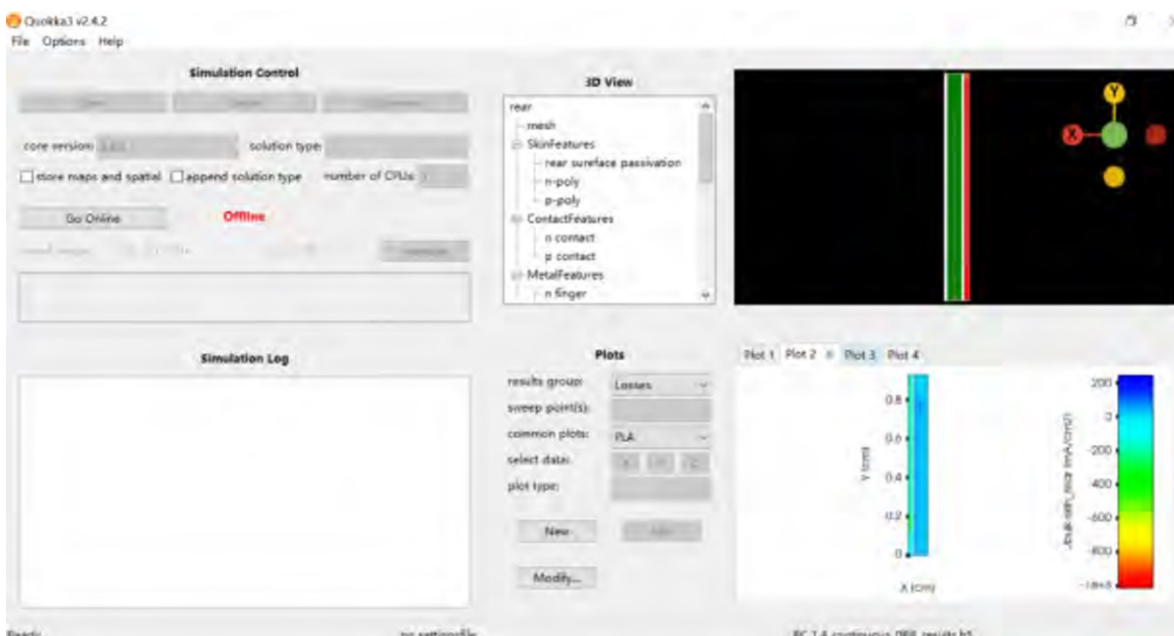


图 85-电芯工况数字化展示

3) 将仿真数据与实验测试结果进行对比验证, 实现设计方案闭环优化, 降低样机迭代次数与试验成本;

4) 基于多物理场耦合仿真平台, 构建系统级数字孪生模型, 评估热失控传播路径及异常工况影响, 提前制定多级安全防护策略, 增强系统稳定性与可靠性。

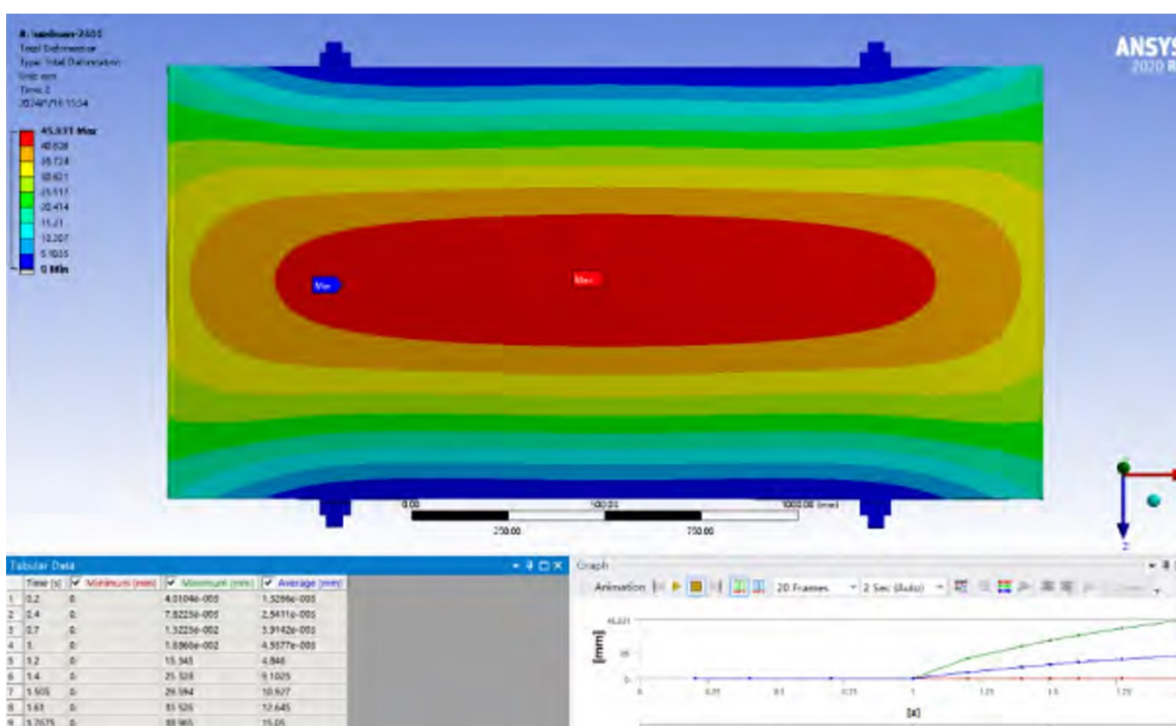


图 86-电芯仿真平台

4.4.2 电池研发虚拟试验与调试

(1) 存在问题

在方形铝壳、软包和圆柱电芯等多种电芯技术路线并存的背景下, 储能电池研发需在热、电、力、化等多物理场复杂耦合中精细调控。当前单一物理场 CAE 仿真工具 (如 Fluent/ANSYS) 在处理电化学-热-力多场耦合问题时精度受

限，研发仍需依赖实物试制+反复试验的方式，导致周期长、投入高。缺乏以高精度电化学建模与耦合仿真为核心的虚拟实验平台，难以在设计初期快速识别潜在失效机制与系统干涉点，调试效率低，严重影响整包集成与热管理策略的快速迭代与优化，进而影响系统整体性能达成与工程化进度。

（2）解决方案

在电池研发虚拟试验与调试场景中，首先构建面向储能电池的多物理场耦合虚拟试验平台，集成电化学行为、结构力学与热管理等核心性能建模能力。

然后基于 Comsol 等多物理场仿真平台构建电芯电压-温度-应力耦合模型，结合 Python/Matlab 进行后处理算法开发，覆盖容量衰减、循环寿命、极片膨胀等关键指标仿真分析。

此外，通过数字化工厂仿真平台（如 Tecnomatix）部署虚拟装配与调试流程，并与 PLM 系统集成实现数据贯通，预设关键装配路径、工艺窗口与设备匹配逻辑，提前识别装配冲突、热界面不良等风险，支撑整线参数优化与量产导入，显著提升开发效率并降低试错成本。

（3）应用场景

某企业部署电化学储能电池建模与仿真平台，利用虚拟测试手段大幅提升电池研发效率及其可靠性。该仿真平台能

够精准模拟不同电池结构下的电化学反应性能与热管理行为，并对结构设计中的能量损耗进行评估分析。通过这一技术，企业有效压缩了从设计到验证的周期，并已在各储能系统生产基地广泛部署。实现了以下 4 种典型应用：1) 基于虚拟仿真手段进行电芯到系统的全链路建模与设计优化，降低物理样机需求，节约测试成本；2) 采用 CFD 与电化学反应耦合仿真方法，模拟电池阵列三维热场分布，识别并优化局部“热点”，优化模组结构以提升系统均匀性与能效；3) 评估环境温度、充电速率等外部因素对系统性能的影响，指导适应性设计，增强系统环境适应能力；4) 基于失效模式库构建多物理场故障模型，采用显式动力学方法模拟内部短路、热失控传播过程等事故情形，评估风险传播路径，优化热隔离与控制逻辑，提高系统安全冗余能力。

4.4.3 数据驱动电池产品设计优化

(1) 存在问题

针对储能应用中大容量、高一致性要求的电芯开发，在尺寸匹配、热分布均匀性、机械结构设计等方面存在诸多挑战。传统通过样品制备与实测手段进行验证的方式，不仅开发周期长，且在容量放大、散热设计与形变控制等方面优化空间有限。特别是在软包大容量电芯的冲压制造中，极耳部位 R 角设计与多层铝箔冲深一致性难以保障，直接影响电芯

结构强度和内部阻抗均衡，成为影响产品性能一致性和寿命可靠性的关键短板。当前急需构建融合仿真数据、工艺参数与运行反馈的多源数据优化平台，形成从电芯设计到工艺制造的闭环优化体系。

（2）解决方案

在数据驱动电池产品设计优化场景中，针对大容量储能系统，首先通过机器学习建立尺寸-性能-工艺参数的映射关系模型，结合多物理场仿真实现设计优化，实现电芯从初始设计到结构优化的快速闭环验证。

此外结合 Pack 模组电-热-力耦合仿真，评估极端工况下的温度梯度与机械应力分布，提前识别结构设计薄弱点。通过多轮材料迭代与壳体结构重构，优化散热路径与强度分布，有效提升电芯一致性与热安全性，降低制造复杂度与运维成本，增强系统全生命周期经济性。

（3）应用场景

某电化学储能企业以市场运行数据、用户应用场景反馈及实验测试结果为依据，构建数据驱动的产品优化体系，有效提升了设计准确性与研发决策效率，并带动了盈利能力的持续增长，实现成本效益双提升。具体包含以下 5 类数据驱动实践：1）结合循环寿命、电压平台等运行数据，指导正负极材料选择与结构参数优化，提升电池综合性能；2）基

于深度学习方法构建电芯老化预测模型，关联历史工况数据与容量衰减规律，预测电芯可靠性，反向调整制造工艺，延长系统使用寿命；3) 分析成本构成与良率数据，实施制造环节精益化管理，平衡性能与成本，提高市场响应能力；4) 利用远程监测与历史维护记录，构建预测性运维模型，降低设备宕机率与维保支出；5) 通过系统级能效仿真与实测数据比对，优化 **Pack** 结构设计以降低能量损耗，识别系统运行瓶颈，推动 **EMS** 优化与策略更新，提升储能系统整体能效与稳定性。

该系统采用的关键装置和技术如下：

1) 通过构建储能产品数字化研发平台，深度集成中望 **CAD**、**SolidWorks** 设计工具与 **PVSYST** 仿真系统，实现从电芯材料研发到 **PACK** 系统集成的全流程数据贯通。平台基于储能电站实际运行数据，结合电压平台特性、循环寿命测试等关键指标，智能优化正负极材料配比和极片结构参数，并将验证后的三维模型、工艺方案直接生成结构化 **BOM** 清单，自动同步至 **ERP/MES** 系统。通过电化学-热耦合仿真技术，平台可提前预测不同散热设计方案下的系统能效表现，为液冷管路布局等关键设计提供数据支撑，显著提升新产品开发效率与制造可行性。

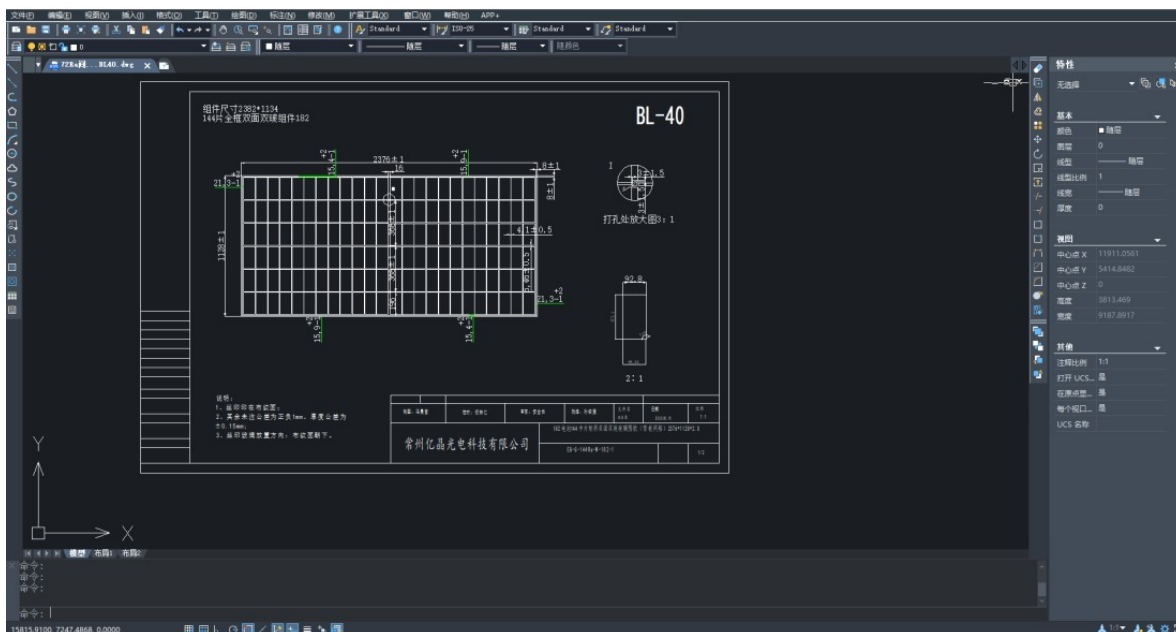


图 87 - 中望 CAD 系统截图

2) 建立基于多物理场仿真的产品验证体系，整合 CAE 分析平台与实验测试数据库，实现储能系统设计的闭环优化。针对新型电解液开发，通过分子动力学仿真结合原位表征数据，验证材料界面稳定性；在模组设计阶段，采用数字孪生技术模拟极端工况下的温度场分布，优化结构安全设计。该体系通过关联历史工况数据与容量衰减规律，构建电芯老化预测模型，反向指导制造工艺改进，同时基于 Pack 系统能效分析数据持续优化 BMS 策略，实现产品全生命周期的性能提升。

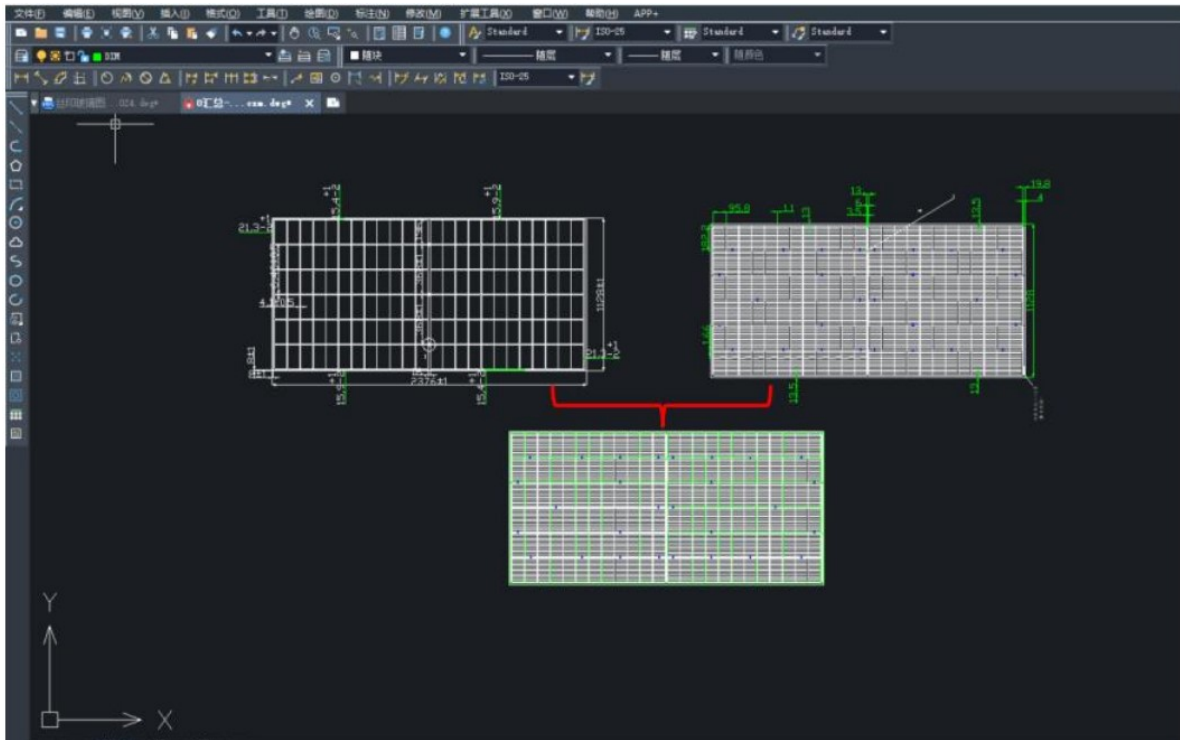


图 88 - 玻璃图纸设计

4.5 工艺设计

4.5.1 工艺数字化设计

4.5.1.1 电池主材制造工艺数字化设计

(1) 存在问题

传统电池主材制造工艺设计流程中，缺乏统一的数据管理平台，导致关键工艺参数与设备配置信息分散，难以有效追溯，限制了涂布、辊压、分切、卷绕等工序间的协同与优化，工艺知识积累与横向共享效率低。依赖文件化的工艺数据难以结构化存储，制约了工艺知识在研发与制造环节的高效传递，进而影响工艺迭代与性能调优能力，严重限制质量分析和制造良率提升。

(2) 场景描述

在电池主材制造工艺数字化设计场景中,通过搭建面向电池主材制造全流程的工艺设计平台,采用参数化、模板化建模方式,实现从浆料配比到装配成型的完整工艺路径管理。此平台集成经过实验校准的材料热力学与多尺度动力学模型,辅助分析极片干燥速率、压实密度等关键参数对容量保持率与倍率性能的影响,支持基于目标函数的工艺窗口优化,赋能制造一致性与能效提升。

该类平台化工具为电池主材制造企业提供了统一的设计与管理环境,实现工艺流程的可视化、可追溯与可闭环优化。

(3) 解决方案

借助设计软件进行产品工艺的设计与规划,在实际生产之前试制产品并进行试验验证,确定最终设计方案后进行实际制造。在实际制造过程中收集机器等实时数据监控生产状态,对生产出来的产品进行质量检测,产生产品检测数据。并通过分析处理制造数据,探索出产品质量与工艺参数间的关系和规律,运用知识库技术进行规范化表达与结构化存储,辅助设计优化决策,改进产品设计,实现产品工艺的“后向设计”。

该方案的应用场景可以参考以下案例:

某电化学储能企业采用统一数据中台打通电池主材制造工艺设计各环节,将浆料制备、涂布烘干、辊压密实等步骤进行

模块化建模与流程集成，显著提升跨部门协同效率与工艺设计速度。借助仿真工具构建电芯加工过程的数字模型，精准预测如极片起皱、边缘裂纹等典型工艺缺陷，降低样机迭代成本，该系统采用的关键装置和技术如下：

1) 应用三维可视化工艺设计与仿真系统，完成电芯结构与制造工艺的数字化建模，并结合虚拟样机仿真与在线检测数据反馈，实现产品与工艺设计的闭环优化；

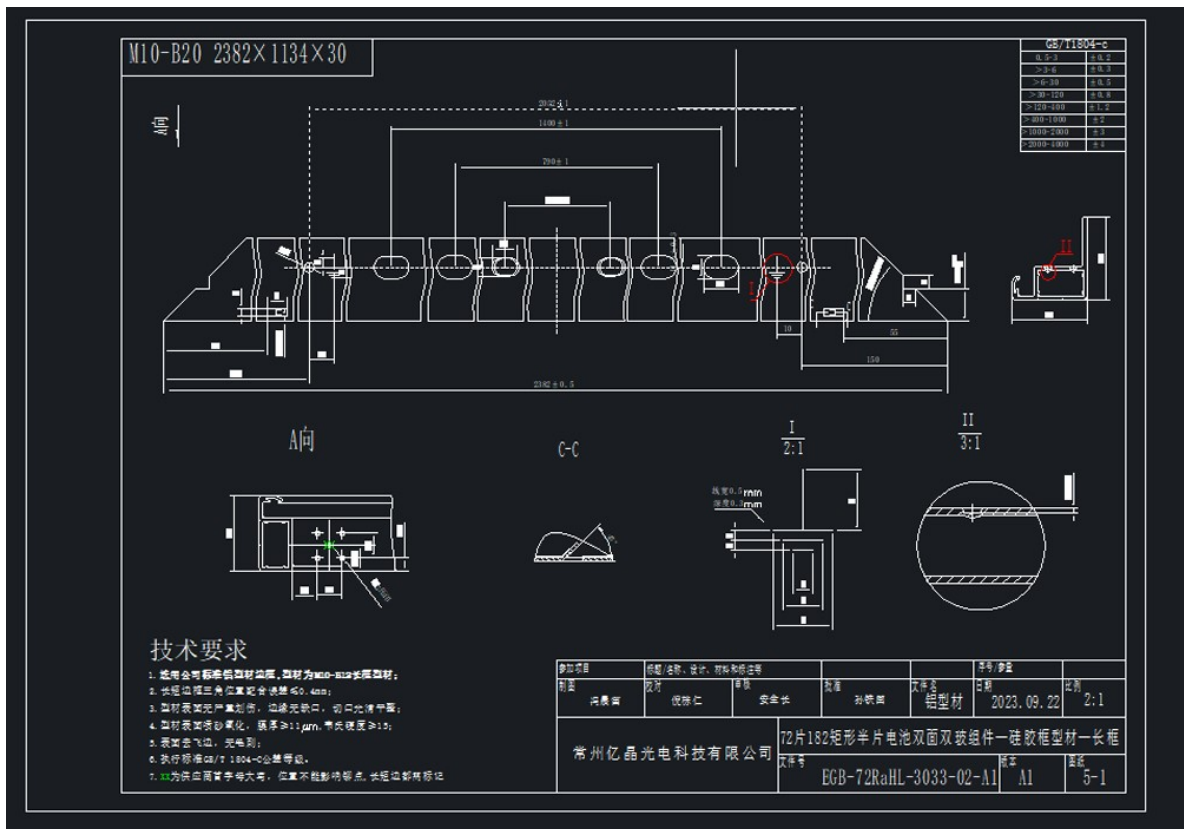


图 89 - 工艺设计数字化系统

2) 构建工艺知识管理系统，实现工艺参数、缺陷案例等数据的结构化存储，实现多规格产品的配置管理、项目协同与版本控制，打通设计与制造数据链条，保障工艺数据的集成化与

全过程可追溯。

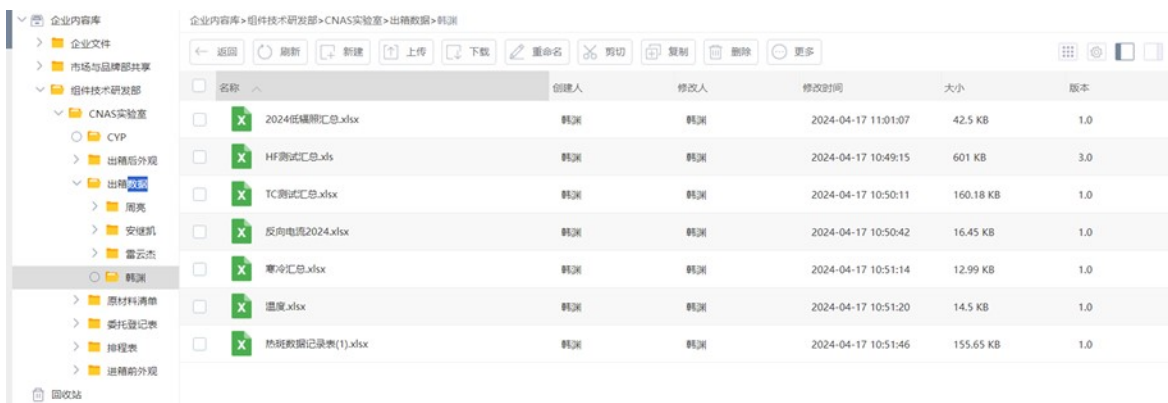


图 90 - 工艺知识管理系统

4.5.1.2 电芯铝塑膜冲坑成型工艺数字化设计

(1) 存在问题

当前铝塑膜冲坑成型工艺存在三大数字化设计瓶颈：1）R角设计与间隙参数缺乏科学计算模型；2）冲深质量（铝层残留、发白等缺陷）难以通过传统试错法有效控制；3）工艺知识分散在人员经验中，缺乏结构化沉淀。

(2) 解决方案

在电芯铝塑膜冲坑成型工艺数字化设计场景中，首先针对电池铝塑膜冲坑成型工艺及质量管理的需求，构建冲压工艺数字孪生平台，集成 Creo（结构设计）、AutoForm（冲压仿真）和中望 CAD 等专业工具，开展产品设计、工艺设计及工艺仿真模拟，以确定最优工艺参数。

同时，通过工艺知识图谱将仿真优化的参数（压边力、冲速等）结构化存储，并自动生成 MES 可执行的工艺指令，

方便现场人员随时查看和使用。

(3) 应用场景

某电化学储能企业在冲坑成型工艺中引入了仿真模拟技术，针对材料特性、成型尺寸、模具（凸模与凹模）几何结构、压边力、冲压速度以及表面粗糙度等因素，系统分析它们对冲深和产品质量的影响，最终确定最优工艺参数。企业联合设备团队共同开发模具，采用三维光学扫描仪获取冲坑形貌数据，通过数字孪生平台实现实测-仿真数据闭环校验，确保开发目标达成。通过仿真模拟，保证冲压成型过程性能稳定、易于生产，同时确保密封性能，避免电池成型后出现漏点，从而维护电池整体性能的可靠性。

此外，企业实现了工艺的数字化管理，涵盖 BOM 的创建、修改、审核发布及报表导出功能，完成初步的工艺数字化转型。系统专注于工艺知识管理（参数优化规则、缺陷对策库等），通过标准化接口输出可执行的工艺方案，支持自动生成工艺文件，满足数字化工艺数据输入的需求，推动生产效率和管理水平的提升。

4.6 运营管理

4.6.1 储能产品销售业务优化

(1) 存在问题

企业的储能产品业务出现产销协同系统缺失问题，销售

需求的响应速度较慢，导致储能电池/电芯/PACK 订单交付时间延误，生产计划的调整也未能及时跟上储能系统项目的交付节奏，影响整体运营效率。

（2）解决方案

在储能产品销售业务优化场景中，首先构建销售与运营计划（S&OP）平台，向上对接 CRM 系统获取需求预测，向下通过 ERP 系统联动 MES/WMS，并开发基于机器学习的需求感知引擎，结合历史订单、市场情报等多维数据提升预测精度。

其次，通过准确的销售预测和储能市场需求分析，制定精细的销售规划，并自动生成相应的储能电池生产、原材料采购和物流安排，实现储能产品销售、电池/PACK 生产、电芯原材料采购和储能系统仓储等环节的高效协同，确保业务流程的顺畅。

最后，实时监控和动态调整，快速响应储能市场变化及客户需求，提升整体运营灵活性。

（3）应用场景

某大型电化学储能企业通过部署销售业务优化系统，实现了从市场需求到生产交付的全流程协同管理。系统基于销售预测数据自动生成生产计划建议，通过可视化看板实时监控订单执行状态，动态调整原材料采购和产能分配方案。当市场需求

发生变化时，系统能够快速评估影响范围，智能生成多个应对方案供决策参考，显著提升了企业对市场波动的响应速度。同时，通过与生产执行系统的数据互通，实现了从销售订单到生产工单的闭环管理，确保交付计划的可执行性。该系统还支持多维度的业务分析，帮助企业持续优化销售策略和资源配置。

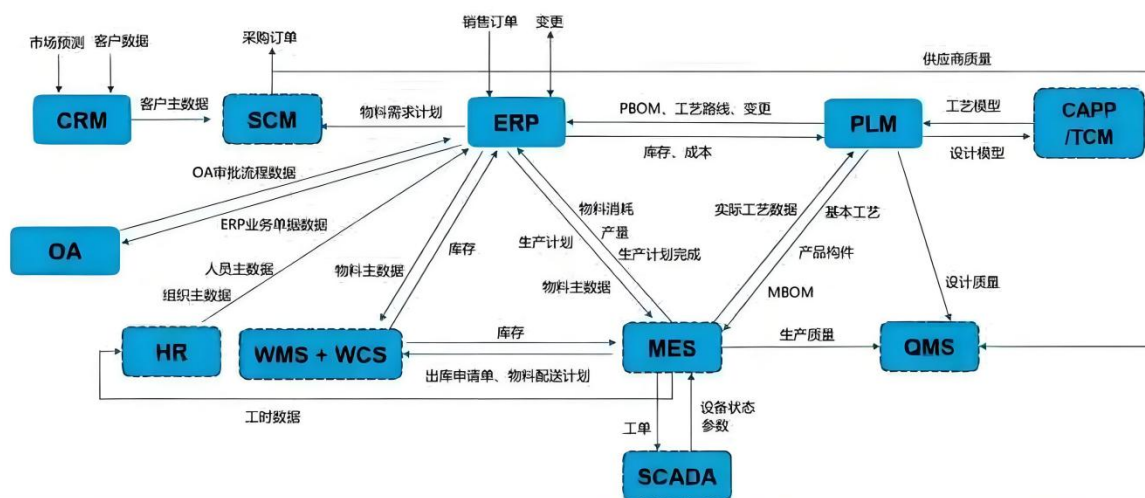


图 91 - 销售驱动业务

4.7 产品服务

4.7.1 电池售后主动客户服务

(1) 存在问题

在电芯和储能电池的交付与服务中，处理客户投诉的闭环管理未能有效落实，导致问题根源难以快速识别，从而引发重复性问题。此外，客户投诉的响应时间和处理效率较低，直接影响了客户的满意度和公司的声誉。

(2) 解决方案

在电池售后主动客户服务场景中，开发或引入先进的客

户服务数字化管理平台，如 ZohoDesk、Freshdesk 等，集成产品溯源、故障诊断等专业功能，支持 BMS 运行数据自动关联客户工单。

这些系统将支持案例管理、多渠道沟通和自动化功能，与 ERP（订单数据）、PLM（产品配置）、BMS 云平台（运行数据）等系统对接，构建完整的设备-客户-服务数据链，增强决策支持，及时收集和處理客户投诉，确保电芯和储能产品的问题能够得到妥善解决，避免重复发生，从而提升客户满意度。

（3）应用场景

某中型储能企业从客户服务流程入手，采用系统化管理方式来处理客户投诉和问题，致力于为客户提供快速而个性化的服务体验。通过实施闭环管理，该企业通过服务中台集成客户服务、产品运维等系统，建立统一的工单处理与知识管理平台，实现数据的高效利用、流程协同和决策支持，显著提升管理效率。基于电池失效模式库（如热失控特征、容量衰减曲线）开展针对性 RCA 分析，有效掌握投诉信息，确保能够妥善解决各种问题，避免重复事件的发生。结合现代信息技术与根本原因分析，公司的客户投诉处理效率和质量得到了显著提升，进而增强了客户满意度。

4.7.2 储能设备远程运维

(1) 存在问题

缺乏对电芯级健康状态（SOH）、系统能效比等关键指标的实时采集，无法实现远程监控和产品性能分析，限制了产品的优化和升级能力。

(2) 解决方案

在储能设备远程运维场景中，首先针对储能产品的售后使用流程，构建与 BMS、EMS 联动的智能运维平台，集成设备监控、故障诊断、能效分析三大核心模块，实现对产品的全面远程监控和运维管理。此平台包括对充放电状态的实时监测、预警系统、产品寿命监控以及收益分析等功能。

此外，通过大数据分析，及时对产品进行远程升级和维护，提升产品性能和客户体验。

(3) 应用场景

某企业建立了一个储能大数据智能运营管理平台，实现对储能设备的全面远程监控与运维管理。主要功能包括对储能设备的充放电监控、预警系统、电池寿命监控、远程运维和收益分析，借助大数据技术进行远程升级和维护。

1) 通过 IEC 61850 等电力通信协议，接入 PCS、BMS 等核心设备，同步采集温控系统、绝缘监测等安全类数据。

2) 构建边云协同架构，边缘侧实现毫秒级数据预处理，云

端采用时序数据库存储长达 15 年的设备全生命周期数据,解决数据秒级同步和压缩的问题,同时保证云边通信的金融级安全,旨在降低网络通信成本、服务器存储成本,减少电站的安全运维风险。

3) 基于实时数据采集与传输,结合储能大数据智慧运营管理平台的功 能,形成三级运维体系:实时监控层(充放电状态)、预警分析层(健康度评估)、决策优化层(收益分析与远程调参),并通过大数据分析实现远程升级和维护,确保产品的高效运作和持续优化。

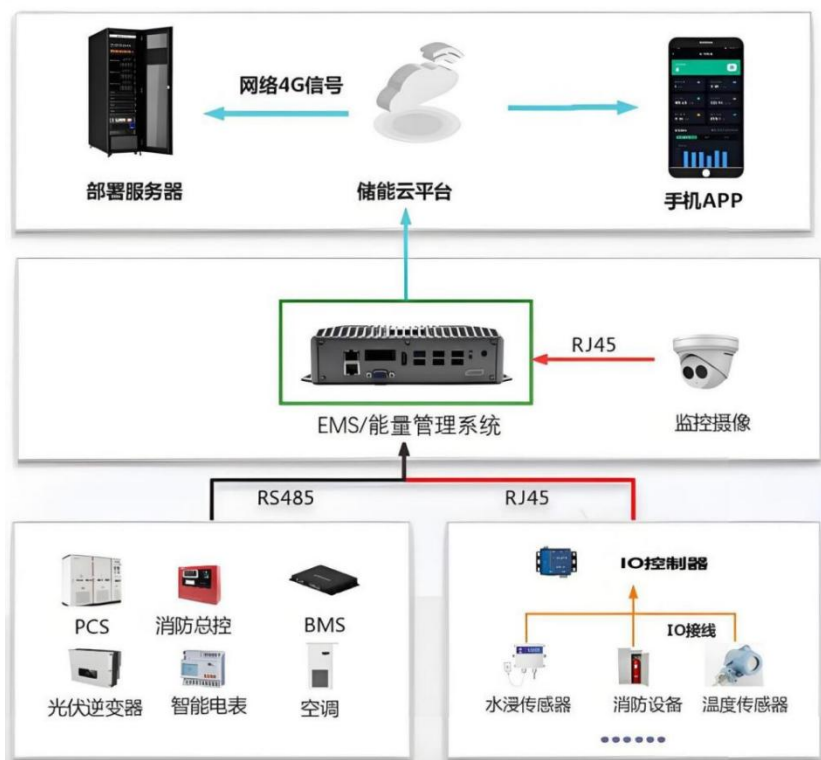


图 92 - 产品远程运维

4.8 供应链管理

4.8.1 电池上下游供应链计划协同

(1) 存在问题

在传统的供应链管理中，电芯、电池、储能产品的采购、生产和配送等环节往往缺乏有效的协调，信息共享不畅，导致计划难以统一，资源浪费严重。此外，需求预测缺乏对上游原材料价格波动、下游招标项目等外部数据的融合分析，造成电芯、电池、储能产品的采购、生产和配送计划与实际需求之间的脱节。计划编制和更新往往依赖人工操作，效率低下，难以适应不断变化的市场需求。

(2) 解决方案

在电池上下游供应链计划协同场景中，首先构建电池行业供应链控制塔，集成 SRM、ERP、TMS 等系统数据，实现电芯、电池、储能产品的采购、生产和配送等环节的数据共享与协同管理，打破信息孤岛。

其次，借助大数据和人工智能技术，实时分析市场需求、仓储状态、生产进度和物流情况，以提高电芯、电池、储能产品的需求预测准确性。

此外，通过高级计划与排程系统(APS)衔接 SRM 与 ERP，实现多级供需平衡，实现电芯、电池、储能产品的采购、生产和配送计划的协同编制和同步更新，以提升计划的灵活性和响

应速度。

(3) 应用场景

某电池制造企业通过构建供应链协同平台，实现了从原材料采购到储能产品交付的全链路数字化管理。该平台整合供应商、生产工厂和物流体系的关键数据，通过智能算法动态优化采购计划、生产排程和配送方案。当市场需求发生变化时，系统能够快速协调储能行业上下游资源，自动生成多套应对方案，显著提升供应链响应速度。同时，平台实现了与电池原材料、电芯等供应商系统的数据互通，确保供应与电池生产需求精准匹配。通过可视化看板，企业可以实时监控电池供应链各环节运行状态，及时识别并化解潜在风险，有效降低库存成本的同时保障交付时效。

4.8.2 电池供应链采购动态优化

(1) 存在问题

电池企业的采购面临复杂的电池材料供应链体系管理：锂、钴等关键原材料的价格受供需关系、地缘政治、宏观经济等因素影响，波动性较大。电池企业需要建立价格波动预警机制和弹性采购方案，应对原材料市场短期剧烈波动带来的成本压力。电池制造对原材料的质量要求极高，需要严格把控原材料的成分、性能等指标。电池企业需要建立完善的供应商管理体系，对供应商进行资质审核和质量控制，确保原材料质量符合标准。

对于集团化的电池公司，往往需要建立统一的采购服务中心，为集团的业务单元提供统一的物料和服务采购服务。

（2）解决方案

在电池供应链采购动态优化场景中，首先通过 ERP 系统实现从采购申请、供应商比价、合同签订到付款结算的全流程数字化管理，同时利用供应商关系管理（SRM）系统延伸管理至供应链的上游。

其次，采用需求感知驱动的智能补货模型，结合市场情报动态调整采购计划，以优化电池生产所需物资的需求模型，提升采购的准确性。

最后，依托 ERP 流程管理，简化并规范采购流程，实现在线审批，从而提高执行效率。

（3）应用场景

某企业为提升采购效率和管理水平建立了一套 ERP（企业资源规划）系统，针对锂、钴等关键材料建立专属采购流程，实现从原料规格审批到批次质量追溯的全过程管控。通过该系统，企业能够对接收到的电池原料采购需求任务、采购申请、采购订单、采购到货、采购入库等各个环节进行在线管理。通过采购驾驶舱实时展示关键指标，包括紧缺物料预警状态、供应商交付准时率 和价格波动影响分析等，确保采购信息的透明度和及时性。在数据分析方面，企业通过 ERP 系统收集电池原

料供应商每笔订单的执行情况、质量情况、时效情况等关键数据。通过这种方式，企业可以优化采购管理流程，提高采购效率，降低采购成本，并提升整体运营效率。

4.8.3 储能产品智能交付

(1) 存在问题

储能产品体积大、重量沉，运输成本高，且对运输方式和环境要求严格，增加了物流成本。电池产品的交付涉及生产、运输、安装等多个独立系统，数据孤岛问题严重，且对交付时间要求严格，导致交付时效性差，影响生产进度。

(2) 解决方案

在储能产品智能交付场景中，首先构建与 MES 生产系统、ERP 订单系统联动的智能调度平台，基于实时工单状态和客户交付要求自动生成运输方案，提高运输效率，确保交付时效性。

其次，结合电池运输温控要求、道路限行规定等约束条件，采用强化学习算法动态优化运输路径，提高运输效率，降低运输成本。

此外，利用区块链技术，建立可追溯的供应链管理体系，实现电池产品的全生命周期追溯，包括生产、运输、交付、回收等环节，提高供应链透明度和信任度。

(3) 应用场景

某企业通过数字化路径规划和智能调度系统，实现了电化

学储能设备运输效率显著提升和成本降低，确保了储能电站建设的高效推进。并通过区块链技术实现电池产品从生产到回收的全生命周期追溯，显著提升了供应链透明度和信任度。利用区块链技术构建数据共享平台，实现了供应链各环节的高效协同，大幅提升了储能项目的建设效率和经济性。通智能调度系统处理实时物流运作，区块链平台确保追溯数据不可篡改，二者通过 API 实现数据互通，实现了运输资源的实时调配和电池全生命周期管理，确保了储能项目的按时交付和高质量运营。

4.8.4 电池主材供应商数字化管理

(1) 存在问题

传统方式下，电池主材供应商信息分散、不统一，难以有效管理和更新。缺乏科学的方法对供应商进行评价和分级，难以选择合适的供应商。与供应商的协同工作存在信息不对称、沟通不畅等问题，导致效率低下。

(2) 场景描述

在电池主材供应商数字化管理场景中，首先建立供应商管理系统（SRM），通过大数据分析，可以根据供应商在电池材料领域的历史表现、产品质量、交货及时性等指标进行综合评价，并进行分级管理，帮助选择优质的电池原材料供应商。

其次，基于系统数据进行科学分析，提供供应商寻源和优选推荐，通过历史数据、市场趋势等分析，推荐最适合的供应

商。

此外，搭建供应商协同平台，实现信息的透明共享和实时沟通，提高协同工作效率，确保电芯和储能产品的高质量交付。

(3) 解决方案

实现电池主材供应商信息的集成和共享，提供快速、准确信息支持。保证信息透明，做到“阳光管理”，避免“灰色操作”。建立供应商信息管理系统，提高原材料、零部件的可追溯性。该方案的应用场景可以参考以下案例：

某电池制造企业通过部署供应商管理系统，实现了对主材供应商的数字化全流程管理。系统根据材料技术参数自动筛选合格供应商，并建立多维度的动态评估体系，实时监控供应商的交货质量与时效。通过在线协同平台，企业与供应商可高效开展技术交底、质量整改等业务协作。当出现原材料异常情况时，系统能够快速追溯供应商历史表现，并启动替代供应商寻源流程，确保供应链稳定性。该方案特别关注电池材料的特殊要求，实现了从供应商准入到绩效评估的闭环管理，显著提升了采购质量和协同效率。

该系统采用的关键装置和技术如下：

1) 供应商数字化管理平台记录供应商的丰富历史信息，确保供应链稳定



图 93 - 供应商数字化管理

2) 主材管理系统记录供应的主材信息，可追溯供应商交货的日期、质量。

| 物料类型 | 物料名称 | 物料描述 | 物料大料号 | 物料小料号 | 厂牌 | 供应商 | 厂商名称 | TAG | 主料号 | 日期 | 机台号 | 操作人 | CL |
|------|------|---|----------------|----------------------------|-----------|-------------------|-------------------|-----|-----|--------------------|--------|--------|----|
| 铜箔 | 铜箔 | 东维铜箔/2378*1207*2.0mm/半铜/超白压花/hull/半康/hull | AHNYCF240303 | W06240214028 | | 德兴汽车铝箔(常州、安南)有限公司 | 德兴汽车铝箔(常州、安南)有限公司 | | | 2024/3/28 9:51:35 | S6L1_1 | 019887 | |
| EVA | EVA | 东维/1392mm/420g/透绿 | YCBKJC240322 | S1130420C140728719-Y053054 | 百佳8601HP | 盐城百佳光电新材料有限公司 | 盐城百佳光电新材料有限公司 | | | 2024/3/28 9:51:46 | EW1_1 | 019887 | |
| EVA | EVA | 东维/1392mm/420g | YCBKJC240324 | S1130420C23072712-Y047048 | 百佳8602M | 盐城百佳光电新材料有限公司 | 盐城百佳光电新材料有限公司 | | | 2024/3/28 10:01:40 | EW2_3 | 003175 | |
| 铝粒 | 铝粒 | 东维/270kg | FLSZXC240314 | S13532024031201T023 | | 嘉禾(苏州)新材料有限公司 | 嘉禾(苏州)新材料有限公司 | | | 2024/3/28 10:47:37 | ZK301 | 024090 | |
| 铝卷 | 铝卷 | C12-803-3056/3284*1303*35mm/AA12/5005 | 35XEDW340319EG | S12822024031800606 | | 江苏美尔达新材料有限公司 | 江苏美尔达新材料有限公司 | | | 2024/3/28 10:47:37 | ZK301 | 024090 | |
| 锂电池 | 锂电池 | 1500V/1.2m/39A/椰香 | 35ZRXN240311 | S08362024031105-001 | 津润28-CBND | 江苏津润新能源股份有限公司 | 江苏津润新能源股份有限公司 | | | 2024/3/28 10:47:37 | ZK301 | 024090 | |
| 锂电池 | 锂电池 | 东维/270kg | FLSZXC240314 | S13532024031201T023 | | 嘉禾(苏州)新材料有限公司 | 嘉禾(苏州)新材料有限公司 | | | 2024/3/28 10:47:37 | ZK301 | 024090 | |

图 94 - 供应商主材管理系统

4.8.5 储能电池回收协同

(1) 存在问题

电化学储能电池回收过程透明性差、效率低、安全性差、价值低以及标准不统一和市场不完善。

（2）解决方案

在储能电池回收协同场景中，首先利用区块链技术构建电池回收协同平台，实现电池回收全流程的透明化和可追溯性。此平台整合用户、回收企业、再生企业等多方资源，优化回收网络布局，提高回收效率。

其次，利用物联网（IoT）技术实时监测电池的健康状态（如容量衰减、内阻变化等），并将数据上传至区块链平台，为回收决策提供依据。

此外，在回收过程中，利用传感器和智能监控系统实时监测电池状态（如温度、电压等），及时发现安全隐患并预警。通过这些数字化管理平台，实现回收过程的安全可控。

（3）应用场景

某新能源企业通过构建电池回收数字协同平台，实现了退役储能电池的全流程智能化管理。该平台基于区块链技术建立电池数字身份系统，完整记录电池从生产、使用到退役的全生命周期数据。通过部署物联网监测设备，平台实时采集退役电池的容量、内阻等健康指标，智能评估电池残值并推荐最优回收方案。在拆解处理环节，集成温度、电压等传感器数据，实现安全风险实时预警。同时，平台连接正规回收企业、检测机构和再生材料厂商，构建合规高效的回收产业生态，确保退役电池的可追溯处理和资源化利用。

五、 路径方法

5.1 实施路径

电化学储能行业的智改数转网联实施进程可以分为三个阶段：业务数据化、数据业务化、业务智能化。

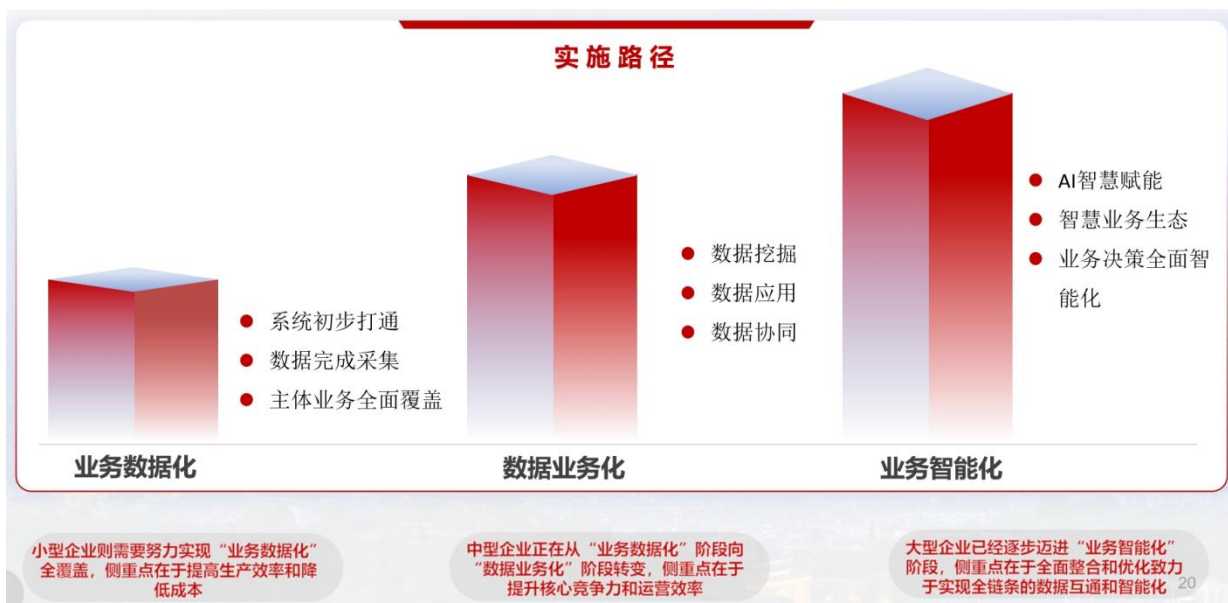


图 95 - 不同规模企业实施路径

(1) 业务数据化:电化学储能产业链各环节基本完成信息技术引入,将传统的业务操作转变为数字化的数据记录与分析。通过部署物联网设备、建立数据仓库及采用数据可视化工具,实现了对研发、生产、财务、供应链等核心业务流程的全面数据采集与实时监控,为后续的数据挖掘与业务优化提供丰富、准确的数据资源。

(2) 数据业务化:电化学储能产业链上下游企业为提升运营效率与市场响应速度,进入数据业务化的实践阶段。利用数据挖掘、大数据分析、孪生仿真、机器学习等技术,对海量业

务数据进行深度剖析，挖掘隐藏于数据背后的业务规律与潜在价值，实现基于数据的业务决策与流程优化，驱动产业链上下游企业从研发设计、生产制造、经营管理、供应链管理、运维服务进行全链条业务优化和流程贯通。

（3）业务智能化：电化学储能产业链数字化转型的最终目标是实现业务智能化，AI 智慧赋能和敏捷适应将赋予产业链更强大的数据处理能力，能够更加从容地面对不可预测的挑战。通过搭建智能决策系统、智能生产体系、智慧供应链网络以及智慧服务体系，构建一个自主智慧的业务生态，实现业务的自动化、精准化与高效化协同。

一般而言，在智改数转网联过程中，大型企业已经逐步迈进“业务智能化”阶段，侧重点在于全面整合和优化，关注所有基本环节和关键环节，致力于实现全链条的数据互通和智能化，构建高度集成的信息系统，实现生产流程的自动化，以及通过高级数据分析提升决策质量，投资于最先进的智能化设备和软件，以保持行业领先地位。中型企业正在从“业务数据化”阶段向“数据业务化”阶段转变，侧重点在于提升核心竞争力和运营效率，在四个基本环节实现信息管理系统和自动化，对关键环节进行智能化改造，以提高产品质量和生产效率，针对性地投资于关键技术的智能化升级，以实现成本控制和市场响应速度的提升。小型企业则需要努力实现“业务数据化”全覆

盖，侧重点在于提高生产效率和降低成本，在基本环节实现大部分自动化覆盖，并逐步推进数字化，以简化操作流程和提高产出，在关键环节采用成本较低的简单改造或外包服务，确保生产线的稳定运行和快速响应市场需求。由于资源有限，小型企业难以投入过多的资源在研发和质量管控上。企业可通过《制造业质量管理能力评估规范》进行自评或采用第三方服务商进行咨询诊断，例如：

1) 两化融合管理体系贯标：<https://jspg.cspiii.com/login>

2) 数据管理能力成熟度评估 DCMM：
<http://www.dcm.org.cn/dcm/dcm/evaluate/self/login>

3) 智能制造能力成熟度评估 CMMM：
<https://c3mep.cn/login>

本指南为电化学储能行业智改数转网联提供了全面指引，与不同梯度的智能工厂建设相辅相成，共同推动行业智能化转型。基础级智能工厂着重于数字化网络化基础能力建设，与“业务数据化”阶段相呼应，通过数据采集、自动化和信息系统建设，实现生产过程的初步智能化。先进级智能工厂在基础级的基础上，提升数字化网络化集成能力，实现数据互通共享、精准控制和协同管理，与“数据业务化”阶段相契合，深入挖掘数据价值，优化生产流程。卓越级智能工厂进一步强化数字化网络化持续优化能力，实现设计生产经营数据集成贯通、制造

装备智能管控和生产过程在线优化，与“业务智能化”阶段相一致，推动产品全生命周期和供应链优化。领航级智能工厂深度融合人工智能等先进技术，推动研发范式、生产方式、服务体系和组织架构等创新，探索未来制造模式，同样对应“业务智能化”阶段，引领行业智能化发展。

本指南结合电化学储能行业的特点提出了详细的实施建议，如下表所示，具体需要企业根据自身实际情况进行调整。

| 建设内容 | 基础级智能工厂 | 先进级智能工厂 | 卓越级智能工厂 | 领航级智能工厂 |
|------|---|---|--|--|
| 工厂建设 | 开展产线级、车间级数字化规划与建设，部署安全可控的智能制造装备、工业软件、系统和数字基础设施，重点实现电化学储能电池生产过程中关键设备的联网和数据采集，为后续智能化升级奠定基础。 | 开展车间级、工厂级数字化规划与建设，对电化学储能电池的工艺路线、产线布局和物流路径等进行仿真，广泛部署安全可控的智能制造装备、工业软件和系统，提升电池极片制造、电解液注入等工序的自动化水平。 | 开展工厂级数字化规划与建设，以及数据治理工作，对电化学储能电池工厂进行系统建模和优化，实现工厂数字化交付，推动虚拟工厂建设，体系化部署安全可控的智能制造装备、工业软件和系统，重点优化电池充放电测试、电池组装配等环节的数字化管理。 | 构建工厂数字孪生系统，实现对电化学储能电池生产过程的精准映射和反馈控制，建立完备的数据治理体系，推动形成企业数据资产，开展安全可控的智能制造装备、工业软件和系统等研发和应用突破，特别是在电池材料制备、电极涂布、电池组装等关键环节实现智能化升级。 |

| | | | | |
|------|--|---|--|--|
| 研发设计 | 开展电化学储能电池产品与工艺的数字化研发设计,初步实现电池设计数据的数字化管理,为后续智能化研发设计奠定基础。 | 开展电化学储能电池产品与工艺的数字化研发设计和仿真迭代,应用智能化设计工具,实现电池设计、工艺设计数据的统一管理和协同,优化电池极片设计、电解液配方等关键工艺。 | 开展电化学储能电池产品与工艺协同研发设计、集成建模和仿真,实现基于模型和数据的系统优化,重点提升电池能量密度、循环寿命和安全性能。 | 探索数据与知识驱动的电化学储能电池研发设计创新,开展电池材料、电极设计、电池结构等关键环节的虚拟验证和调试,推动电池性能优化和成本降低。 |
| 生产作业 | 开展关键装备和工艺的数字化升级,实现电化学储能电池生产中关键装备、工序和系统的实时监控,以及关键生产工序(如电极涂布、电解液注入等)的自动化作业,为后续智能化升级奠定基础。 | 开展关键装备和工序的数智技术应用,实现电化学储能电池生产中关键装备的异常预警、关键工序数据的在线分析、关键生产过程的精准控制,以及产品关键质量特性(如电池容量、内阻等)的数字化检测。 | 开展多场景数智技术在电化学储能电池生产中的应用,实现装备运行状态的智能分析和故障诊断、生产过程的智能管控和在线优化、过程质量的在线检测与控制,重点优化电池充放电测试、电池组装配等环节的智能化水平。 | 开展人工智能在电化学储能电池生产工艺、装备等方面的创新应用,实现电池材料制备、电极涂布、电池组装等关键生产过程的动态优化、智能决策控制和产线动态调整,提升生产效率和产品质量一致性。 |

| | | | | |
|------|--|---|--|--|
| 生产管理 | 应用信息系统，对电化学储能电池生产的作业计划、产品质量、设备资产、生产物料等进行管理，实现关键生产过程（如电极涂布、电池组装等）的精益化，为后续智能化管理升级奠定基础。 | 通过对电化学储能电池生产过程、仓储物流、设备运行、产品质量等进行数字化集成管控，应用智能化分析工具，实现高效辅助计划排产和生产业务协同管控，并开展安全、能源、环保的数字化管理，优化电池极片制造、电解液注入等关键工序的管理效率。 | 通过电化学储能电池生产全过程数据的综合分析，实现生产计划与排程自动生成、设备全生命周期管理、质量精准追溯和持续改进、物流仓储策略优化、安全应急联动、能源环保综合管控等，推动主要生产要素的智能协同优化，提升电池生产的效率和一致性。 | 探索多目标、多扰动、多约束情况下的电化学储能电池生产计划优化和智能排产调度，推动制造资源的全面优化利用。建立能源、碳资产、安全、环保综合管理创新机制，推动可持续制造，重点优化电池生产过程中的能耗和碳排放管理。 |
| 运营管理 | 应用信息系统，对电化学储能电池工厂的采购、销售、库存、财务和人力资源等进行管理，实现经营数据精准核算和绩效指标量化评估，为后续智能化运营管理升级奠定基础。 | 通过经营管理与生产作业等业务的数据集成贯通，应用智能化管理工具，实现成本有效管控、订单及时交付、绩效指标动态评估等，开展供应链数字化管理，优化电池生产中的原材料库存、物流配送和交付周期。 | 通过多维数据智能分析，实现用户需求精准识别和敏捷响应、全厂资源协同优化、电池产品增值服务（如电池健康状态监测、寿命预测等）、设计生产服务闭环优化、智能化决策支持等，推进供应链上下游“链式”协同，提升电池生产效率和客户满意度。 | 推进电化学储能电池工厂的横向、纵向、端到端集成，构建智慧供应链，推动生产方式、服务体系和组织架构等变革，探索未来制造模式，重点优化电池原材料采购、生产调度和产品交付的全流程协同。 |

表 1 - 不同规模企业的实施路径

5.2 相关政策

(1) 智改数转网联政策

推动新型储能高效调度运用：贯彻国家《关于进一步推动新型储能参与电力市场和调度运用的通知》（发改办运行〔2022〕475号）要求，新型储能可作为独立储能参与电力市场，鼓励配建新型储能与所属电源联合参与电力市场，坚持以市场化方式形成价格，持续完善调度运行机制，发挥储能技术优势提升储能总体利用水平，保障储能合理收益，促进行业健康发展。

推进能源领域科技创新：贯彻落实《“十四五”能源领域科技创新规划》（国能发科技〔2021〕58号）要求，突破能量型、功率型等储能本体及系统集成关键技术和核心装备，满足能源系统不同应用场景储能发展需要，加快推动能源科技进步。

江苏省智能工厂梯度培育体系：为深入贯彻国务院关于推动制造业数字化转型的决策部署，认真落实省政府办公厅《江苏省深化制造业智能化改造数字化转型网络化联接三年行动计划（2025-2027年）》（苏政办发〔2024〕39号），根据工业和信息化部等部委开展智能工厂梯度培育、中小企业数字化赋能等工作部署，分层分级推进智能工厂建设，促进实体经济和数字经济深度融合。

(2) 电化学储能行业相关标准

| 序 | 标准名称 | 标准级别 | 标准编号 | 发布日期 |
|---|------|------|------|------|
|---|------|------|------|------|

| | | | | |
|----|---------------------|------|------------------|------------|
| 号 | | | | |
| 1 | 《电化学储能电站接入电网技术规定》 | 国家标准 | GB/T 36547-2018 | 2024-05-28 |
| 2 | 《电化学储能电站安全规程》 | 国家标准 | GB/T 42288-2022 | 2023-01-11 |
| 3 | 《电力系统电化学储能系统通用技术条件》 | 国家标准 | GB/T 36558-2023 | 2023-12-28 |
| 4 | 《电力储能用锂离子电池》 | 国家标准 | GB/T 36276-2023 | 2023-12-28 |
| 5 | 《电力储能用铅炭电池》 | 国家标准 | GB/T 36280-2023 | 2023-12-28 |
| 6 | 《电化学储能电站调试规程》 | 国家标准 | GB/T 42737-2023 | 2023-12-28 |
| 7 | 《全钒液流电池可靠性评价方法》 | 国家标准 | GB/T 43512-2023 | 2023-12-28 |
| 8 | 《智能电化学储能电站技术导则》 | 国家标准 | GB/T 44133-2024 | 2024-05-28 |
| 9 | 《预制舱式锂离子电池储能系统技术规范》 | 国家标准 | GB/T 44026-2024 | 2024-05-28 |
| 10 | 《电化学储能电站自动化系统技术规范》 | 团体标准 | T/CAS 797-2023 | 2023-12-13 |
| 11 | 《储能电池集成式液冷设备技术规范》 | 团体标准 | T/DBC007-2023 | 2023-11-10 |
| 12 | 《电化学储能光伏系统电能质量检测规程》 | 团体标准 | T/DBC008-2023 | 2023-11-10 |
| 13 | 《光储充一体化电站技术规范》 | 团体标准 | T/DBC004-2023 | 2023-11-10 |
| 14 | 《电化学储能电站能量管理系统技术规范》 | 团体标准 | T/CIAPS0034-2024 | 2024-05-23 |
| 15 | 《储能电池液冷散热器》 | 团体标准 | T/CIAPS0035-2024 | 2024-05-23 |

表 2 - 电化学储能行业相关标准

(3) 智改数转网联相关标准

| 序号 | 标准名称 | 标准级别 | 标准编号 | 发布日期 |
|----|---------------------|------|-----------------|------------|
| 1 | 《工业企业信息化和工业化融合评估规范》 | 国家标准 | GB/T 23020-2013 | 2013-09-18 |
| 2 | 《信息化和工业化融合管理体系》 | 国家标准 | GB/T 23000-2017 | 2017-05-22 |

| | | | | |
|---|-------------------------|------|------------------------|------------|
| | 系基础和术语》 | | | |
| 3 | 《信息化和工业化融合管理体系要求》 | 国家标准 | GB/T 23001-2017 | 2017-05-22 |
| 4 | 《信息化和工业化融合生态系统参考架构》 | 国家标准 | GB/T 23004-2020 | 2020-09-29 |
| 5 | 《信息化和工业化融合管理体系新型能力分级要求》 | 国家标准 | GB/T 23006-2022 | 2022-03-18 |
| 6 | 《数字化转型参考架构》 | 团体标准 | T/AIITRE 10001-2021 | 2021-12-14 |
| 7 | 《数字化转型价值效益参考模型》 | 团体标准 | T/AIITRE 10002-2020 | 2020-12-01 |
| 8 | 《数字化转型新型能力体系建设指南》 | 团体标准 | T/AIITRE 20001-2021 | 2021-12-14 |

表 3 - 智改数转网联相关标准

5.3 政府补助

(1) 《2025 年度江苏省制造强省建设专项资金智改数转网联项目申报指南》

为深入贯彻国务院关于推动制造业数字化转型的决策部署，认真落实省政府深化制造业智改数转网联三年行动计划，围绕“1650”产业体系建设，聚焦“筑峰强链”重点企业，支持制造业数字化、网络化、智能化建设，加快推动新一代信息技术与制造业深度融合。

1) 国家卓越级智能工厂建设项目：重点支持企业推进制造各环节集成贯通和综合优化，建设国家卓越级智能工厂，加快新一代信息技术与制造过程深度融合。

支持条件：入选 2024 年度国家卓越级智能工厂的企业。

补助标准：对每家入选企业予以 100 万元定额奖励。

2) 工业互联网平台建设项目：支持省内重点工业互联网平台企业聚焦集群产业链，持续深耕行业领域，积淀行业机理和工业基因，打造行业标准化、模块化的产品和解决方案，提升集群产业链企业赋能水平。

支持条件：上一年度综合评价前十名工业互联网平台企业。

补助标准：按不超过 2024 年度平台企业营业收入的 10% 予以奖励，最高不超过 500 万元。

(2) 《2025 年度江苏省制造强省建设专项资金重点产业技术创新项目申报指南》

2025 年度江苏省制造强省建设专项资金重点产业技术创新项目，紧紧围绕省委、省政府加快制造强省建设的部署，聚焦提升 16 个先进制造业集群和 50 条重点产业链创新能力，重点支持企业创新载体建设、创新药械奖励和研发服务等，为全省企业技术创新体系建设提供有力支撑。

制造业创新中心创新能力建设项目：支持省级制造业创新中心创新能力建设，包括实验/试验平台建设、研究开发、测试

验证、人才引培、行业支撑服务等方面内容，支撑行业关键共性技术开发、转移扩散和工程化商业应用。

支持条件：

1) 2025 年 1 月 1 日以前获批复建设且经考核合格的省级制造业创新中心，且未获得省级制造业创新中心项目支持。

2) 有固定研发场所，有全职运营团队和研发团队，有健全的财务管理机构和制度。

3) 项目实施周期应在 2024 年 1 月 1 日（含）至 2026 年 12 月 31 日（含）之间。

4) 项目总投资投入不含税，包括实验/试验平台建设、研究开发、测试验证等方面发生的设备（含配套软件）购置费，测试化验加工费，材料费、燃料动力费，研发成果的论证、评审、验收以及知识产权等费用，研发人工费用以及外聘研发人员的劳务费用，与创新能力建设内容直接相关的其他费用。其中：设备（含配套软件）购置费占比不低于 50%。

补助标准：按照不超过项目总投资的 50% 予以补助，单个项目支持额度最高不超过 3000 万元。分次拨付补助资金，今年拨付首次补助资金，通过验收审核后，拨付剩余资金。

（3）《2025 年度江苏省制造强省建设专项资金服务体系建设项目申报指南》

2025 年度江苏省制造强省建设专项资金服务体系建设项目，

重点支持中小企业公共服务体系建设、“1650”产业服务体系建设、重点活动、开放原子开源专区建设、大学生企业实习实训基地等项目，为全省企业服务体系建设和提供有力支撑。

1) 中小企业公共服务体系建设项目：构建省、市、县三级中小企业服务体系，提升全省中小企业公共服务机构服务能力。

支持条件：根据第三方对全省中小企业公共服务机构服务与发展指数测算结果，按照指数排名对中小企业公共服务机构择优给予事后奖补。

补助标准：单个项目支持额度不超过 50 万元。

2) “1650”产业服务体系建设项目：支持集群发展促进机构积极参与“1650”产业体系建设工作，加强集群沟通交流、推进产学研协同创新、引导行业发展。此类项目采取市场化竞争方式遴选，具体见省工信厅（委托招标代理机构）另行发布的相关公告。

3) 重点活动项目：在全国有较大影响的服务产业发展重点活动。

支持条件：重点活动项目完成后，以符合方案规定支出标准，并经专项审计后的总投入为基数，按项目总投入一定比例（根据专家评分分档确定比例）优选部分活动项目予以补助。

补助标准：单个项目支持额度最高不超过 1000 万元。

4) 开放原子开源专区建设项目：支持开放原子开源专区建设，为省内企业、高等学校、科研机构、园区广泛提供从开源技术创新到开源成果商业化的全链条优质公共服务。

支持条件：高水平建设和运营开放原子开源专区，为省内企业、高等学校、科研机构、园区广泛提供开源项目和子社区运营培训、开源代码托管/灾备服务、开源战略咨询服务、开源技术安全应用与法律合规支撑服务、开源创新项目孵化与引进、开源人才引育、开源创新成果知识产权保护等优质公共服务，达成的开源公共服务绩效水平在全国领先。

补助标准：给予不超过开放原子开源专区 2025 年度建设及运营总投入的 30%、不超过 500 万元的资金补助。

5) 大学生企业实习实训基地：支持企业与高校合作共建高水平企业实习实训基地，促进提升大学生实践能力，夯实推进新型工业化、发展新质生产力的人才根基。

支持条件：根据《省教育厅省工业和信息化厅关于做好省级大学生企业实习实训基地申报工作的通知》，对评定为省级大学生企业实习实训基地的依托企业予以支持。

补助标准：每个基地不超过 100 万元。

六、 愿景与展望

随着互联网、大数据、人工智能等技术的深度融合，我省已率先推动“智改数转网联”战略，成为全国范围内主动适应

和引领新一轮科技革命和产业变革的先行者。目前，我省在“智改数转网联”方面的发展已达到国内领先水平，深化制造业智能化改造数字化转型网络化联接三年行动计划（2025—2027年），不仅在顶层设计、典型示范、平台支撑和场景应用方面取得了显著成效，而且“智改数转网联”已成为推动企业降本增效、引导产业转型升级的关键力量。数字化、网络化、智能化已成为我省发展新质生产力的核心优势，科技创新、模式创新、业态创新的多轮驱动，使我省智能制造和工业互联网创新应用走在了全国前列，为加快建设现代化产业体系、激发经济发展新动能、推进新型工业化、建设制造强省提供了坚实的数字基础。

在电化学储能行业，我省已发展成为全国数字化与智能化升级的标杆。以工业互联网为核心的新一代技术深度融合，正在深刻重塑行业的生产力和生产关系，推动储能行业迈向高质量发展与可持续发展的新阶段。面对碳中和目标下的多重挑战，我省电化学储能行业通过全生命周期的数字化与智能化实现，不仅有效破解了行业痛点，而且为绿色发展提供了重要路径。站在数字技术发展的最前沿，我省电化学储能行业不仅为全国新能源行业树立了智能制造的标杆样本，而且在推动能源结构转型、实现全球碳减排目标方面贡献了重要力量，为全国新能源行业的发展提供了宝贵的经验和支持。

未来，我省电化学储能行业将继续发挥引领作用，致力于构建更智能、更安全、更绿色的生产体系。通过数字孪生技术、工业互联网、5G 网络技术、人工智能与自动化技术的综合应用，我省将为全国储能行业提供高效、安全、可靠的解决方案，推动行业智能化水平的全面提升。

附件 1

人工智能典型应用场景

1、研发设计

固态锂电池的热-电-力耦合机理复杂，多目标参数互相牵制；传统 CAD-CAE 流程依赖大量有限元仿真和样机迭代，仿真周期长、试验成本高。与此同时，仿真平台、台架实验及历史文档之间的数据壁垒使得知识难以沉淀，跨学科协同效率低，难以支撑“高能量密度-长寿命-低成本”同步优化的快速迭代需求。围绕上述痛点，通过构建以工业 AI 大模型为核心的智能研发平台，持续强化数字孪生、机理融合和数据驱动协同能力。

1) 大模型驱动的 CAD 脚本生成器

在结构建模环节，对 CodeGen-6B 进行企业级微调，将 NX/Open 与 CATIA 宏指令映射为自然语言语料，再配合历史设计脚本进行监督微调。微调后的模型被封装成本地 CAD 插件，工程师只需输入“设计一款支持 8A 放电、尺寸 180×64 mm 的叠片模组”等指令，即可即时生成草图与可编辑参数化特征树；当设计变更时，插件通过对话形式更新脚本并自动重构三维模型，同时同步 BOM 与工艺属性到 PLM 系统，实现设计数据的端到端贯通。

2) 强化学习多目标优化器

针对能量密度、最大温升和结构成本三项核心指标，构建基于 PPO 算法的连续动作空间优化器，将极片厚度、散热通道宽度、导热材料类型等设计变量映射为动作向量，并与 GNN-PINN 热-电-力代理模型在线交互评估。优化器采用自适应熵调节策略提升搜索多样性，以获得覆盖不同成本区间的 Pareto 前沿解集；最优参数组通过 API 回写 CAD 模型并生成可直接下发至 MES 的工艺卡片，工程师可一键比选方案并快速进入样机验证阶段，显著缩短从概念到定型的设计周期。

2、材料优化与开发

传统材料研发高度依赖“试错法”与专家经验，面临周期漫长（动辄数年）、成本高昂（大量实验消耗）、难以探索复杂组分关系等瓶颈。AI 技术，特别是机器学习（ML）和深度学习（DL），通过数据驱动方法，正革命性地改变这一范式，显著提升新材料的发现与优化效率，为电化学储能行业提供强大助力。

核心技术路径与应用：

（1）材料性能预测与高通量虚拟筛选：

问题：从海量可能的成分、结构中人工筛选有潜力的候选材料如大海捞针。

方案：监督学习模型构建：基于材料数据库（包含分子/晶体结构描述符、元素组成、工艺参数、实测性能数据如电导

率、离子迁移率、热稳定性、能量密度、循环寿命等），训练高性能回归或分类模型。

关键算法：

树模型：梯度提升决策树(GBDT/XGBoost/LightGBM)、随机森林(RF)-擅长处理表格数据，捕捉非线性关系，解释特征重要性。

核方法：支持向量回归/分类(SVR/SVC)-适用于中小规模高维数据。

图神经网络(GNN)：可直接输入材料的原子图结构（原子为节点，化学键为边），学习结构与性能的深层关联，对预测分子材料（如电解液、有机电极）、晶体材料（如正负极、固态电解质）性能极具优势。

深度神经网络(DNN)：处理高维特征向量，学习复杂映射。

应用：输入目标性能（如：高离子电导率 $>10\text{mS/cm}$ ，宽电化学窗口 $>4.5\text{V}$ ，热分解温度 $>200^\circ\text{C}$ ），模型快速预测海量候选材料（如新型锂盐、溶剂、添加剂组合，或高镍/富锂锰/无钴正极，硅基/金属锂负极，硫化物/氧化物固态电解质）的性能得分。虚拟筛选出排名靠前的候选者，优先进行实验验证，极大缩小实验范围。

(2) 逆向设计与生成新分子/材料：

问题：如何主动设计满足特定苛刻性能指标的全新材料。

方案：

生成模型：变分自编码器(VAE)/生成对抗网络(GAN)：在潜在空间中学习材料结构分布，生成具有目标属性的新颖分子结构或晶体构型。

强化学习(RL)：Agent 学习生成满足目标属性（由预测模型评估）的结构，通过奖励机制优化生成策略。

贝叶斯优化(BO)：在连续或离散的材料设计空间（如元素比例、掺杂浓度）中，以最少的实验次数找到最优解。它结合预测模型（代理模型，常用 GPR）和采集函数，智能选择下一个最有希望评估的点。

应用：设计具有超高离子电导率的新型固态电解质成分；生成具有高比容量和优异循环稳定性的有机正极分子结构；优化电解液配方以实现宽温域工作和高安全性。

（3）材料模拟与机理洞察：

问题：DFT 等第一性原理计算精度高但计算量极大，难以用于大规模筛选或长时程模拟；实验难以实时观测原子尺度过程。

方案：

ML 势函数：使用神经网络（如高精度神经网络势 NNPs）或核方法，学习 DFT 计算数据，构建计算速度比 DFT 快几个数量级、精度接近 DFT 的替代势函数。

分子动力学模拟加速：利用 ML 势函数进行大规模、长时程的分子动力学(MD)模拟，研究材料在原子尺度的动态行为（如离子扩散机制、界面反应、SEI 形成过程）。

预测材料特性：使用训练好的 ML 模型直接预测 DFT 级别的材料特性（如形成能、带隙、弹性常数），绕过昂贵的直接计算。

应用：模拟锂离子在不同电解质/电极材料中的扩散路径和能垒；研究电极-电解质界面的稳定性及副反应；预测新型材料的电化学窗口和锂离子迁移数。

（4）工艺优化与衰减分析：

问题：材料合成与制备工艺（温度、时间、压力、气氛、烧结曲线、涂布参数等）对最终性能影响巨大；电池衰减机制复杂。

方案：

工艺参数优化：结合实验数据，使用回归模型(GBDT,SVR,DNN)或贝叶斯优化(BO)建立工艺参数与材料性能的映射关系，并寻找最优工艺窗口。

衰减机理研究：应用聚类分析、关联规则挖掘、时序模型(LSTM/Transformer)分析循环老化数据（容量衰减曲线、阻抗谱、产气、形貌变化），识别主导衰减模式及其关键影响因素（如析锂、SEI 增厚、活性物质损失、结构相变）。

寿命预测：使用监督学习回归模型(SVR,GPR,DNN,LSTM)或生存分析模型，基于早期循环数据预测电池/材料的剩余使用寿命(RUL)。

应用：优化正极材料烧结工艺以提高结晶度和稳定性；优化电极浆料配方和涂布干燥工艺以改善电极均一性；基于早期数据预测电池寿命；识别导致某批次电池循环跳水的主要原因（如电解液分解产物积累）。

核心价值与效果：

革命性缩短研发周期：从“年”级缩短到“月”甚至“周”级。

显著降低研发成本：减少昂贵、耗时的试错实验次数。

解锁复杂设计空间：探索人工难以企及的多组分、多目标优化问题。

加速新材料发现：高效识别或主动设计突破性材料。

深入理解机理：提供微观尺度的洞察，指导性能提升与问题解决。

提升工艺稳定性与良率：实现材料制造过程的精准控制。

3、产品缺陷检测与质量控制

在电化学储能制造（如电池生产）中，微观缺陷（针孔、裂纹、涂层不均、焊接瑕疵）直接影响产品安全与寿命。传统人工检测存在速度慢、漏检率高（15%）、标准不一等痛点。基于深度学习的视觉检测系统通过以下技术路径实现全自动、

高精度、闭环式质量控制：

（1）深度视觉检测模型

采用高性能卷积神经网络(CNN)架构(如 ResNet、YOLOv8、EfficientDet)进行特征提取。CNN+全连接层，判断是否存在缺陷(二分类)及缺陷类型(多分类)。Faster R-CNN/YOLO 系列，定位缺陷位置并输出边界框(Bounding Box)。U-Net/DeepLabV3+，对缺陷区域进行精确掩码标注(适用于裂纹、涂布不均等需量化面积的缺陷)。模型轻量化(MobileNet 主干)、TensorRT 加速，满足产线毫秒级响应需求。

（2）小样本与泛化能力提升

使用 ImageNet 预训练模型初始化权重，解决工业样本稀缺问题。针对特定缺陷(如电池极片暗痕)，冻结浅层网络+微调(Fine-tuning)顶层。生成对抗网络(GAN)合成罕见缺陷样本(如电解液渗漏形态)。基于 MAML 算法，使模型快速适应新缺陷类别(如工艺变更导致的未知瑕疵)。

（3）动态过程控制

利用强化学习(RL)动态调整相机曝光、对比度阈值，适应材料反光或环境变化。基于时序模型(LSTM)分析缺陷分布趋势，自动触发设备校准(如涂布机压力调整)。缺陷数据实时关联 MES(制造执行系统)，自动下发工艺参数修正指令(如焊接电流优化)。统计过程控制(SPC)看板可视化缺陷

率波动，驱动根本原因分析（RCA）。

电池制造场景落地示例

| 工序 | 缺陷类型 | AI 检测方案 | 技术指标 |
|------|-----------|-------------------------|-----------------------------------|
| 极片涂布 | 涂层厚度不均、针孔 | U-Net 分割+在线厚度测量算法 | 精度： $\pm 1\mu\text{m}$ ，检出率：99.5% |
| 电芯焊接 | 虚焊、焊渣飞溅 | YOLOv8 检测焊点形态+热红外图像融合分析 | 误判率： $< 0.3\%$ |
| 壳体封装 | 密封胶断裂、变形 | 3D 点云扫描+点云配准算法（ICP） | 缺陷定位精度：0.1mm |

表 4 场景落地示例

4、智能仓储管理

原材料（如锂钴镍矿、隔膜、电解液）与成品电池的仓储管理直接影响生产连续性和交付效率。传统仓储依赖人工调度和静态分区，面临空间利用率低（ $< 60\%$ ）、取货路径长（平均 > 300 米/单）、AGV 协同效率差（闲置率 $> 30\%$ ）等痛点。AI 通过以下技术路径构建动态优化系统：

（1）智能储位优化引擎

基于聚类算法（DBSCAN/OPTICS）分析物料属性（尺寸/重量/危化等级）、出入库频率、订单关联性，动态划分存储区域。使用关联规则挖掘（Apriori 算法）识别高频共现物料（如正极材料+导电剂），实现就近存储。结合强化学习（RL）持续优化储位分配，响应订单波动（如：紧急插单时自动腾挪高频物料至近出口区）。3D 体积扫描+装箱优化算法（BFD 算法），

最大化立体仓库容量。

(2) 多 AGV 协同调度系统

图搜索算法 (A*算法) 规划单 AGV 最短路径, 规避动态障碍 (人员、其他 AGV)。蚁群算法 (ACO)/遗传算法 (GA) 解决多 AGV 任务分配与无冲突路径规划 (减少交叉等待)。多智能体强化学习 (MARL) 实现 AGV 集群自主协同, 动态响应任务优先级变化 (如: 优先处理产线缺料告警)。基于 Petri 网模型的死锁预防机制, 保障高密度 AGV 场站 (>50 台) 流畅运行。

(3) 数字孪生与预测中枢

时序模型 (LSTM/Transformer) 预测原材料需求, 联动供应商管理系统 (SRM) 自动补货。基于孤立森林 (iForest) 算法实时监控库存异动 (如: 电解液异常消耗)。构建仓库数字孪生体, 通过离散事件仿真 (DES) 验证调度策略, 预判瓶颈 (如: 节前订单峰值下的 AGV 承载力)。

电池仓储场景落地示例

| 模块 | 传统痛点 | AI 解决方案 | 增效成果 |
|--------|-------------------|---------------------|---------------------------|
| 危化品库管理 | 人工分区效率低, 安全风险高 | DBSCAN 聚类+安全距离约束优化 | 分区效率提升 40%, 合规率 100% |
| 极卷搬运调度 | AGV 路径冲突, 搬运时效不稳定 | MARL 多智能体协同+A* 动态避障 | AGV 闲置率降至 12%, 搬运时效提升 35% |
| 成品电池出库 | 订单波峰期拣选延迟严重 | 关联规则挖掘+预拣货缓存区机制 | 高峰订单处理能力提升 50% |

表 5 场景落地示例

5、计划调度优化

在电化学储能行业中，生产流程多由多道复杂工序串联构成，涉及原材料准备、设备排产、成品入库及维护保障等多个环节，且不同工序之间存在显著的工艺依赖性和时间耦合特征。传统的调度方式多采用静态计划排产和人工干预，难以应对订单波动、设备故障、物料迟到等突发事件，导致生产资源无法高效配置、计划执行灵活性不足，从而制约整体产能释放和交付效率。围绕上述挑战，构建面向多源异构数据的智能调度系统，打造“预测—决策—执行—反馈”一体化闭环调度体系。

1) 多维产能与物流预测

在生产计划环节，引入 **Informer** 或 **Autoformer** 等长序列时间建模网络，针对订单需求、物料交付周期、在制品积压情况等关键变量进行多步联合预测。模型以日/小时为时间粒度输入多维时序数据，自动提取趋势、周期性与突发事件影响因素，提升未来几周期产能、原料到货波动的预测精度。

2) 动态调度优化

在排程与运维策略生成阶段，构建融合混合整数规划 (**MIP**) 与 **PPO** 强化学习的调度引擎，统一建模换线时长、设备维修周期、人员班次、物料库存和电价波动等多维约束。其中，**MIP** 求解用于提供全局可行解框架，强化学习部分用于策略微调与

局部扰动优化，实现调度策略在动态变化环境中的持续更新与自适应调整。

6、设备预测性维护

在电化学储能制造过程中，关键工艺设备如涂布机、辊压机、焊接系统和自动装配单元的运行状态对产线节拍与产品一致性有着决定性影响。然而，传统的定期维护制度以时间或使用次数作为触发依据，未能反映设备的真实健康状态，容易出现“过维护”浪费资源或“维护滞后”引发突发故障的现象。这类维护策略在高速自动化产线中尤为不适用，易导致生产节奏中断、设备寿命缩短和产品质量波动。围绕上述问题，构建融合多模态感知与工业大模型的设备预测性维护系统，推动从经验驱动向数据驱动的智能转型。

1) 多模态健康预测

在建模阶段，部署多种传感器实时采集温升、振动、气压、电流波动等时序数据，以卷积神经网络（CNN）提取不同模态的局部特征，再通过长短期记忆网络（LSTM）建模短期波动与趋势变化，捕捉设备运行过程中的动态模式。在此基础上引入 Transformer 结构，增强模型对远距离时间依赖的建模能力，提高对设备性能退化、微弱异常等“早期

信号”的识别精度。该模型可输出预测的健康状态曲线及剩余使用寿命（RUL）估计，为维修计划提供量化依据。

2) 故障归因与定位

采用自编码器（AutoEncoder）对大量无标签运行数据进行无监督训练，学习其低维表达与重构误差，在运行偏离正常模式时实现异常检测。同时，构建基于图神经网络（GNN）的设备结构拓扑图，将传感器数据映射到各个子部件节点之间，建模部件之间的功能依赖关系和异常传播路径。当检测到潜在故障趋势时，可结合 GNN 推理分析定位影响最大、最可能发生失效的关键节点，辅助运维人员开展有针对性的巡检与预维护操作，显著提升维护效率与精度，避免系统性故障发生。

7、储能系统性能监控

储能电站在运行过程中需面对多变环境、频繁调度与高负载冲击等复杂工况，电池簇内部存在温度梯度、老化差异和运行状态不同步等问题，极易造成 SOC（荷电状态）与 SOH（健康状态）估算偏差、能效下降及故障隐患积累。传统的定期巡检和规则式告警机制缺乏实时性和整体性，难以支撑对电站级性能变化的全局感知与响应。围绕这些问题，构建一体化性能监控架构，实现大规模储能系统的状态可视、预警及时和策略

智能。

1) 边缘端状态估算

在储能系统现场部署轻量化的 **Transformer-GRU** 混合神经网络模型，融合电压、电流、温度、环境照度等多模态传感数据，进行电池单体与簇级的 **SOC**、**SOH** 和能量转换效率 (**ECE**) 实时估算。**Transformer** 模块能够建模长时序数据中的全局特征，捕捉设备负载与环境交互下的运行规律；而 **GRU** 部分则对短周期的电流波动和温升变化做出灵敏响应，提升状态估算的精细度与时效性。该模型适配边缘算力条件，在终端节点快速推理并同步结果至主控系统，便于及时调度响应。

2) 异常检测与数字孪生诊断

在主控层构建时序异常检测网络 (**TS-TAD**)，结合对比学习训练策略，使模型能够区分正常运行状态与如温升突跳、电流脉冲或 **SOC** 漂移等微弱异常模式。模型输入包含多时间尺度滑窗数据，通过多尺度卷积与特征对齐机制，对异常特征进行逐步放大与突出，提升检测的准确性与鲁棒性。为支撑工况诊断与优化控制，云端部署基于 **PINN** 构建的储能系统数字孪生模型，模拟不同负载、电网调度策略下的电池热-电响应过程，辅以 **PPO** 强化学习算法优化充放电调度与簇间均衡策略。

8、市场参与策略优化

在电化学储能系统的实际运营中，资产需同时参与现货市

场、电力辅助服务市场以及区域分布式交易等多类型市场。不同市场机制在时效性、收益结构与响应要求上存在显著差异，尤其是在价格高波动性、电量计划不确定性及服务交互复杂性等因素影响下，传统依赖规则与静态策略的方式无法充分挖掘收益潜力，容易出现错过高价、响应滞后或充放电策略失配等问题，制约了储能系统市场价值的发挥。围绕这一问题，构建面向多市场协同优化的智能决策框架，利用人工智能增强策略生成的灵活性与精度，提升市场响应效率与系统整体收益。

1) 储能动态投标与充放电策略生成

采用基于深度强化学习的 PPO (Proximal Policy Optimization) 算法，训练端到端策略网络，输入包括历史电价序列、短期负荷预测结果、储能当前状态 (如 SOC、SOH)、系统能效因子以及市场类型标识等特征。模型通过多目标奖励机制同时优化现货交易、电量平衡与频率响应等收益函数，输出连续动作空间下的投标行为与充放电功率控制策略。策略网络通过在线学习机制不断吸收新市场行情与系统反馈，实现策略自进化。同时，在训练过程中引入价格扰动模拟与马尔可夫决策过程 (MDP) 建模，提高模型在市场剧烈波动场景下的稳健性与泛化能力，减少投标失败与策略崩溃的风险。

2) 资源协同优化与需求响应管理

在面向区域性或多节点分布式储能场景中，引入图神经网络

络(GNN)对区域拓扑与储能装置间的调度耦合关系进行建模。节点特征包括各储能设备的运行状态、电价预测、本地负荷及可调节能力等信息，边特征代表输电限制与调度成本。GNN模型在推理阶段输出各设备的边际参与策略及跨设备功率调节建议，实现多储能资源间的动态分工与响应协同，提升整体响应效率与市场收益率，有效解决设备孤立响应带来的协调缺失与整体优化不足问题。最终策略结果通过API接口集成至电力交易平台，实现策略执行、修正与市场反馈闭环，提高储能系统在复杂市场环境下的实时应对能力与收益获取能力。

9、核心场景人工智能解决方案

| 场景 | 技术路线 | 数据治理 | 实施规划 | 投资回报率(ROI)周期 |
|-----------|---|---|--|--------------|
| 缺陷检测与质量控制 | 采用YOLOv7+Transformer混合架构，基于多光谱成像(X射线+红外)构建三维缺陷特征矩阵，实现极片裂纹、隔膜褶皱等缺陷的精准识别 | 每周采集5000张以上缺陷图像，需标注缺陷类型(裂纹、气泡等)及三维坐标，标注团队需包含电化学工程师复核 | 单产线部署成本45万元(含多光谱成像设备+计算模块)，IDC机房需配置4节点Kubernetes集群用于集中训练。年度标注及模型更新成本约8万元 | 1.2年 |
| 智能仓储管理 | 基于多智能体(Multi-Agent)协同优化，结合RFID+UWB定位技术，实现电池堆垛路径动态规划。构建仓储三维仿真系统，预测热失控扩散路径并优化消防策略 | 采集电池尺寸、重量、SOC状态等参数。异常堆垛场景模拟数据占比≥15%。建立电池堆垛安全规则库(如间距阈值、温度梯度限制) | 核心算法部署于私有云，边缘端采用工业网关连接设备。初期建设120万元，年度云资源及设备维护费用18万元 | 1.5年 |
| 市场参 | 集成博弈论动态竞价算 | 构建能源政策实 | 专用服务器(32核 | 2.0年 |

| | | | | |
|-------|---|---|--|--|
| 与策略优化 | 法、电价预测（Prophet 时序模型）及政策文本分析（BERT 微调模型）。基于 VaR（风险价值）计算模块，量化储能系统参与电力市场的峰谷套利风险 | 体库（含补贴条款、碳排放因子），颗粒度细化至政策文件章节级别。收集市场报价数据，历史数据覆盖≥3 年交易周期。 | CPU/256GB 内存）支撑每日 10 万次策略模拟，与电网调度系统通过 API 对接。初期算法开发、数据治理投入 150 万元，年度数据采购及模型迭代费用 25 万元。 | |
|-------|---|---|--|--|

附件 2

投入改造清单及图谱

1、电化学储能行业系统化场景图谱示意图

| | 主材制造 | 电芯制造关键工序 | | 电池 PACK 制造 | 储能服务 |
|--|--|----------|------|------------|------|
| | | 电芯设计 | 电芯装配 | | |
| | <p>数字化协同生产制造</p> <p>工具链：目前生产制造系统采用开源（IDEA、C#、MySQL、thingworx 等等）开发工具自主研发电芯 MES 系统、PACKMES 系统、IOT 平台，与第三方合作基于 unity3D 搭建数字孪生平台，实现制造精益管控、产品溯源、质量分析、生产监控等等。再基于生产大数据平台建立分析模型库，采用帆软 report 自主开发报表、看板等方式实现数据可视化。</p> <p>数据链：目前平台跟设备间的交互主要有：MQTT 接入、OPCUA 接入、RESTful（WebAPI）接入、日志文件接入等。通过以上数据解析服务方式，打通公司设备、环境、参数点位的信息的数据传输，设备包含了电池涂布、碾压、卷绕、焊接、分容、组装等生产过程，传输速度达到秒级别能够保证数据的实时准确性。</p> <p>痛点问题：低延迟高可靠的数据采集与传输难。电化学储能电池生产制造面临着极高的质量要求、极复杂的工艺流程、极快的生产速度等极限制造条件限制，传统网络架构存在的先天缺陷使得其难以应对产线设备故障和网络抖动节点离线等异常因素。</p> | | | | |

| | | | | | |
|-------------|------------|--|--|--|---|
| <p>生产管理</p> | <p>主场景</p> | <p>A1.1 电池原料智能仓储</p> <p>工具软件: 唯智 WMS、PACKMES、oracleJDE、帆软 report</p> <p>数据要素: 实时库存量、库存周转率、库存预警、物流效率、物流调度、库存管理</p> <p>知识模型: 实时监控与预警模型、库存优化模型、物料收发货模型、上架模型</p> <p>人才技能: 数据分析、信息系统、项目管理</p> <p>痛点问题: 由于电化学储能主材料存储安全和稳定具有较高要求，难以平衡高标准的存储安全与稳定性需求，难以提高库存周转率，缓解对企业资金回笼和运营效率的不利影响</p> | <p>B1.1 电池生产计划优化</p> <p>工具软件: 设备数采系统(MaaS)、制造执行系统(MES) SAP 系统、ERP 系统、CRM 系统、EPS 系统</p> <p>数据要素: 设备信息(OEE)、物料信息(到料周期、消耗)、工序信息、产线负荷、电池材料信息、采购提前期、安全库存、订单需求、品质信息、设备维护周期</p> <p>知识模型: 产能负荷平衡模型、能力约束平衡算法、MRP 参数配置、计划约束逻辑</p> <p>人才技能: 数据采集与监控、数据分析、算法设计、系统集成、计划排程、生产管理、ERP/MES 系统操作、供应链管理、设备维护、质量管理</p> <p>痛点问题: 难以及时掌握关键生产要素(如正负极材料、电解液、隔膜等)及其库存动态，存在信息滞后与准确性不足的问题；计划管理人员在原材料消耗、产能负荷、良率等数据收集与核算方面工作量大，易出现人工误差；销售预测、PACK 组装生产计划及采购节奏不精准，导致生产、采购与发货之间衔接不畅，</p> | <p>D1.1PACK 车间智能排产</p> <p>工具软件: 分布式缓存库 Redis、分布式数据存储 MongoDB、消息中间件 RabbitMQ、分布式调度框架 Quartz</p> <p>数据要素: 电池原始数据、电性能、历史数据、设备参数、工艺标准</p> <p>知识模型: 标准算法库、电性能算法模型库、图表分析算法模型库、电子系统设计模型、安全性能模型、材料科学模型</p> <p>人才技能: 数据挖掘、数理统计、模式识别、自然语言处理、机器学习和人工智能、分布式计算框架、分布式数据存储</p> <p>痛点问题: 各基地电池包指标数据管控存在差异性，算法模型及数据源不同、</p> | <p>E1.3 储能一体化能效平衡与优化</p> <p>工具软件: 能源流向管理系统、智能能效调节系统、工厂能源管理系统 FIMS、设备监控系统</p> <p>数据要素: 能耗计量数据、生产节拍、设备状态、环境参数、能源购转换数据、输送数据</p> <p>知识模型: 能流分析模型、能源平衡模型、智能算法、知识库</p> <p>人才技能: 能流分析、动态负荷平衡控制、AI 智能能效调节、能源管理、数据分析、节能方案制定、设备监控、预测性维护、系统开发与集成</p> <p>痛点问题: 储能电池随着充放电循环次数的增加，储能电池内部会发生一些不可逆的化学反应，导致内阻增大、最大可用容量、能量以及峰值功率能力衰退，从而大大</p> |
|-------------|------------|--|--|--|---|

| | | | | | | |
|------|------|--|--|--|--|---|
| | | 响。 | 财务账务滞后，整体运营效率偏低。 | 定制化需求增多、系统算法开发和模型界面设计需适配各基地使用。 | 地削减了储能效率，甚至带来一些安全隐患。 | |
| | 细分场景 | A1.2 电池原料资源动态配置 痛点问题： 随着模型精度的提高，计算量也会急剧增加，导致计算效率低下；电池仿真分析参数往往难以通过实验准确测量，且存在较大的不确定性；电池仿真分析的边界条件和初始条件与实际性能存在偏差，影响仿真分析的有效性。 | B1.2 电池制造安全风险监测 痛点问题： 安全生产监控平台需要保持长时间稳定运行，但部分系统存在稳定性不足的问题，如频繁宕机、数据丢失等。系统故障将直接影响风险预警的及时性和准确性，甚至导致安全生产事故的发生。 | | E3.2 储能系统信息安全建设 痛点问题： 在紧急故障诊断与维修场景中，数据的实时性至关重要。如果数据更新延迟，可能导致无法及时发现问题并采取有效措施。 | |
| 生产作业 | 主场景 | A2.1 智能协同作业 工具软件： OracleJDE, 山大华人SRM、唯智 WMS、泛微 OA、帆软 BI、CRM、PLM、MES | B2.1 精益电池生产管理 工具软件： C#、thingworcx 平台、IOT 平台、MES、API 接口 数据要素： | C2.1 电芯智能装配与质检 工具软件： MES 系统、QMS 系统、工业视觉识别平台、激光焊接控制系统、数据中台、工业 AI 质检平台 | D2.1PACK 在线运行监测 工具软件： SCADA IOT 中控平台、MES 系统、在线运行监测系统 数据要素： 设备数据、品质检测数据、技术业务数据、设备 OEE 数据、设备运行数据、异常报警数据、电芯数量、 | E2.1 储能产品质量优化 工具软件： LIMS、QMS、SPC、在线质量监测、MES 系统 数据要素： 质量数据、设备状态、工艺信息、 |

| | | | | | |
|--|--|---|---|---|--|
| | <p>数据要素: 成本管理、流程控制、订单协同、交付协同、资产链预算、采购申请、合同及执行、发票及付款、折旧</p> <p>知识模型: 成本管理模型、策略与模型优化模型、触发与反馈机制模型、数据分析模型、数据可视化模型</p> <p>人才技能: 项目实施、项目管理、信息化管理</p> <p>痛点问题: 人工操作方式耗时较长,生产周期延长,效率不高;人工操作存在误差,难以保证产品质量和一致性;生产过程中的数据量大,传统方式难以有效管理和分析;电池生产过程中存在一定的危险性,不当操作可能引发安全事故;冲切叠片关联效率低,质极片传送过程损伤报废等问题突出。</p> | <p>原材料数据、工艺参数、设备运行数据、产品数据、质量数据、环境数据</p> <p>知识模型: 数据采集模型、大数据分析模型、质量预测与控制模型、一致性对比模型、工艺设计资源模型</p> <p>人才技能: 编程技能、系统设计能力、化学工程</p> <p>痛点问题: 生产加工流程复杂,涉及多工序和设备,导致 PLC 与上位机通信协议复杂且难解析;化学制造过程中对反应控制的实时性和准确性要求高,而现有数据采集系统难以满足需求;同时,IOT 平台对数据采集和网络稳定性要求极高,以确保数据连续性和可靠性,保障产品质量与安全。</p> | <p>数据要素: 电芯参数数据、装配位置信息、焊接工艺参数、视觉图像数据、检测结果、追溯码信息</p> <p>知识模型: 焊接质量识别模型、电芯一致性评估模型、缺陷图像识别模型、装配过程异常分析模型、工艺优化仿真模型</p> <p>人才技能: 设备集成能力、工业视觉算法能力、装配工艺工程、系统集成与调试</p> <p>痛点问题: 电芯装配流程精度要求高,过程复杂,虚焊、偏位等问题频发,自动化作业仍依赖手工修正;图像识别算法对环境与工况敏感,缺陷误判率较高;同时装配过程数据未与质检结果有效打通,难以实现全过程的缺陷识别与追溯闭环,造成良率控制难、</p> | <p>位置和状态、上料速度和效率、云母布安装质量和位置精度、模组重量和尺寸</p> <p>知识模型: 设备集成方案、数据采集接口协议、设备运行性能分析模型</p> <p>人才技能: 设备集成、数据分析、传感器技术应用、云计算、系统开发与集成、设备管理、生产管理、质量管理</p> <p>痛点问题: 人为操作设备效率低,易出错;设备稼动提升不可控,设备管理能力低、利用率低,难以快速了解生产过程的趋势和问题;监测设备的状态和性能存在困难,无法及时发现故障和异常,无法了解设备运行状态,无法获取设备运行数据,无法进行设备运行管理统计分析;远程操作和管理不足,无法对电池生产设备进行集中优化和管理。</p> | <p>检验项目、质量知识库、直通率、柏拉图分析数据、质量异常数据、异常原因数据</p> <p>知识模型: 质量数据分析模型、质量溯源模型、质量优化模型、缺陷分析预测模型</p> <p>人才技能: 质量数据分析、质量溯源、质量优化、SPC 分析、质量知识库建设、设备监控、工艺信息管理、缺陷分析预测、质量机理分析</p> <p>痛点问题: 生产过程中无法以单托盘为单位进行合格电池 K 值分析,且需要满足样本数量。如果人工数据清洗要求的托盘进行剔除,最后生成电池 K 值离散图,工作量特别大,无法及时推演出 K 值异常电芯。</p> |
|--|--|---|---|---|--|

| | | | | | | |
|--|--|--|--|---|--|--|
| | | | | 分析效率低。 | | |
| | | | <p>B2.2 电池产线柔性配置</p> <p>工具软件: PLM 系统、CAD/CAE 平台、结构仿真分析工具 (ANSYS、COMSOL)、BOM 管理系统、工艺知识管理平台</p> <p>数据要素: 产品结构数据、工艺参数数据、仿真分析数据、失效与返修记录、材料与变更信息</p> <p>知识模型: 装配结构设计规范、热-力仿真模型、设计变更影响评估模型、生命周期可靠性模型、结构工艺知识图谱</p> <p>人才技能: 结构建模能力、CAE 仿真分析、PLM 系统运维、产品全周期管理、失效分析能力</p> <p>痛点问题: 电芯装配结构设计与后端制造流程缺乏协同联动, 早期设计阶段工艺适配性评估不足, 导致试产反复调整; 产品服役后故障无法高效追溯至设计源头或装配环节, 生命周期数据缺乏沉淀与共享, 阻碍知识积累和快速响应。</p> | <p>D2.2 电池生产设备运行优化</p> <p>痛点问题: 设计变更频繁但同步机制缺失, 制造现场难以及时响应; 质量问题多集中于设计验证不充分及制造反馈闭环不畅, 导致质量责任归因模糊, 标准化工艺沉淀不足, 影响制造效率与一致性。</p> | <p>E2.2 设备故障诊断与预测</p> <p>痛点问题: 储能电站涉及高能量密度的电池组, 一旦发生安全事故, 如电池失控、火灾等, 将造成严重后果。目前, 部分储能电站在安全监控和应急响应方面存在不足, 难以有效预防和控制安全事故的发生。</p> | |

| | | | | | |
|------|------|---|---|--|---|
| | 细分场景 | <p>B2.3 电池质量精准追溯</p> <p>痛点问题：</p> <p>原材料溯源中物料信息和生产过程数据难绑定，同时成品的物料信息观测难定义和编制，造成系统质量的数据录入频繁，产品质量问题难以快速定位和解决。</p> | <p>C2.3 电池生产先进过程控制</p> <p>痛点问题：</p> <p>装配过程中的电芯定位精度、焊接轨迹控制和模块化夹具切换能力难以满足多型号并线生产需求，同时自动化柔性装配系统构建门槛高，造成设备利用率和装配一致性难以提升。</p> | <p>D2.3 电池质量智能在线检测</p> <p>痛点问题：</p> <p>检测图像与质检算法标准不统一，导致误检和漏检情况并存，质检结果难以精准反映装配缺陷；追溯系统与过程数据脱节，导致缺陷产品追责周期长、复现困难，影响产品可追溯性与质量闭环。</p> | |
| | | <p>B2.4 电芯工艺动态优化</p> <p>痛点问题：</p> <p>装配结构可制造性考虑不足，仿真分析覆盖不全，导致试制阶段夹具不适配、热管理性能不达标等问题频发，结构调整周期长，难以满足快速迭代开发需求。</p> | | | |
| 工厂建设 | 主场景 | <p>A3.1 储能核心工艺环节数字化设计</p> <p>工具软件：</p> <p>整体系统基于 unity3d 开发；图形算法基于 shadergraph 进行开发；代码采用 C#编写</p> <p>数据要素：</p> | | | <p>E3.1 储能电站数据湖治理与流通</p> <p>工具软件：</p> <p>云边协同数据湖、BMS、EMS、</p> |

| | | | |
|--|-------------|---|---|
| | | <p>客户端组件、数据序列化等相关文件、数据统一采用 UTF-8 编码；核心设备、制造环境、工艺流程、3D 数字化模型</p> <p>知识模型：</p> <p>数字孪生 3D 仿真模型、设备预警模型、物联网采集模型、数据分析与决策模型</p> <p>人才技能：</p> <p>3D 建模、数字化建模、大数据分析、计算机语言开发</p> <p>痛点问题：</p> <p>受限于传统 CAD 与二维流程设计工具，难以对极片涂布、电芯注液、化成老化等核心工艺环节进行精准建模与动态仿真，导致车间物流路径、设备排布和能源介质布线存在效率瓶颈</p> | <p>PCS、温控系统、AI 算法平台、私有云、数据湖系统、储能集控平台、智能化数据集成平台</p> <p>数据要素：</p> <p>热失控预警数据、系统寿命评估数据、系统集成数据、售后维护数据、质量追溯数据、碳资产管理数据、温控系统数据、消防系统数据、状态监测系统数据</p> <p>知识模型：</p> <p>电芯状态预测模型、热失控预警模型、系统寿命评估模型、故障诊断模型、容量退化预测模型</p> <p>人才技能：</p> <p>数据湖治理、云边协同架构设计、多源异构数据集成、AI 算法开发、数据安全和隐私保护、数据生态建设、数据治理标准化、数据分析和挖掘、智能调度、能效评估、预测性维护、数据资产管理</p> <p>痛点问题：</p> <p>储能系统制造中涉及多个系统和设备，数据格式和协议不统一，导致数据孤岛现象严重，系统集成难度大，影响数据的共享和利用，设备监控困难。</p> |
| | <p>细分场景</p> | <p>A3.2 工业数字基础设施集成</p> <p>痛点问题：</p> <p>不同系统间的数据格式和协议不统一，导致数据孤岛现象严重。系统集成难度大，难以实现跨系统跨环节的数据共享与协同</p> | |

| | | | | | | |
|-------------|------------|--|--|--|---|--|
| <p>产品研发</p> | <p>主场景</p> | | <p>B4.1 数据驱动电 池产品设计优化</p> <p>工具软件： BMS、PLM、ERP、MES 等</p> <p>数据要素： 电池研发数据、生产制造数据、使用与维护数据、回收与处置数据</p> <p>知识模型： 电池性能模型、寿命预测模型、故障诊断模型、回收与利用模型、订单管理系统模型、销售预测与分析模型</p> <p>人才技能： 电池技术研发人才、生产管理人才、数据分析与机器学习专家</p> <p>痛点问题： 动力电池制造的工艺复杂，涉及多个环节和步骤，且对精度和一致性要求较高。然而，当前动力电池制造企业在制造工艺的</p> | | <p>D4.1 储能核心子系统数字化 研发</p> <p>工具软件： 电池建模仿真工具 Simulink、嵌入式开发平台、全流程 PLM 系统、BMS、EMS 系统、高精度传感器</p> <p>数据要素：电芯结构数据、模组 PACK 集成数据、储能系统级控制数据、电芯状态数据、热失控预警数据、充放电数据、温升数据、热分布数据、内阻变化数据、仿真数据、实验测试结果数据、故障模式数据</p> <p>知识模型： 电芯状态监测模型、寿命预测模型、热失控预警模型、电化学反应模型、热分布模型、内阻变化模型、故障模式影响评估模型</p> <p>人才技能： 电池仿真建模、嵌入式开发、PLM 系统集成、BMS/EMS 系统集成、传感器应用、AI 算法开发、数字化研发流程设计、多部门协作、数据对比验证</p> <p>痛点问题：</p> | |
|-------------|------------|--|--|--|---|--|

| | | | | | | |
|------|-----|--------------------|---|--|---|--|
| | | | <p>精细化和一致性控制上仍存在不足，导致电池性能差异较大。</p> | | <p>当前电化学储能产品在 BMS、EMS、PCS 及电池舱热控与消防等核心子系统的研发中，仍存在“经验驱动+文档堆积”的传统模式，缺乏面向复杂系统的模型化、参数化和协同化研发工具，导致设计周期长、版本迭代慢、数据一致性差。产品全生命周期的图纸、模型、配置等信息分散在多个系统中，缺乏统一的 PDM/PLM 平台支撑，设计、仿真、制造之间协同效率低，影响跨专业集成设计效率。</p> | |
| | | | <p>B4.2 电池研发虚拟试验与调试</p> <p>痛点问题：</p> <p>研发仍需依赖实物试制+反复试验的方式，导致周期长、投入高。缺乏以高精度电化学建模与耦合仿真为核心的虚拟实验平台，难以在设计初期快速识别潜在失效机制与系统干涉点，调试效率低</p> | | | |
| 工艺设计 | 主场景 | A5.1 电池主材制造工艺数字化设计 | <p>B5.1 电芯铝塑膜冲坑成型工艺数字化设计</p> <p>工具软件：</p> | | | |

| | | | | | |
|--|--|---|--|--|--|
| | | <p>工具软件: 工艺管理平台 ElectroderDIGITAL、 仿真工具 ElectroderSIM、统一 数据中台 ElectroderMOD</p> <p>数据要素: 浆料配比数据、装配 成型数据、材料热力 学数据、动力学数据、 极片干燥速率数据、 压实密度数据、容量 保持率数据、倍率性 能数据、工艺缺陷数 据、制造工艺数据、 虚拟样机数据、数字 工厂仿真数据、实际 检测试验数据、多规 格产品配置数据</p> <p>知识模型: 材料热力学模型、动 力学模型、工艺窗口 优化模型、工艺缺陷 预测模型、数字工厂 仿真模型</p> <p>人才技能: 工艺管理、参数化建 模、模板化建模、数 据分析、仿真建模、 三维可视化设计、数</p> | <p>PLM 系统(产品生命周期管理)、Creo(CAD 设计)、Cadence Allegro PCB Designer、中望 CAD、工艺仿真模拟软件、MES 系统接口模 块</p> <p>数据要素: 材料物理性能数据、铝塑膜几何尺寸数据、 模具(凸模与凹模)几何参数、压边力数据、 冲压速度参数、表面粗糙度数据、冲深及成 型质量数据、工艺参数配置数据、X 射线荧 光光谱分析数据、工艺文件数据、BOM 数据、 生产现场实时数据</p> <p>知识模型: 材料变形与冲压仿真模型、模具几何优化模 型、工艺参数匹配模型、冲深与质量预测模 型、密封性能保障模型、数字化工艺管理模 型</p> <p>人才技能: 工艺仿真模拟、CAD/CAE 设计、工艺参数优 化、数据采集与分析、生产现场实时监控、 PLM 系统管理、MES 系统集成、数字化工艺 流程设计、材料性能评估、虚拟样机技术、 工艺文件数字化管理</p> <p>痛点问题: 软包大容量电芯冲坑成型过程涉及 R 角、间 隙对冲深以及冲深质量的影响,如铝层残留 低,发白等问题</p> | | |
|--|--|---|--|--|--|

| | | | | | |
|-------------|------------|---|--|--|--|
| | | <p>字工厂仿真、虚拟样机技术、产品数据管理、数据中台建设</p> <p>痛点问题：</p> <p>缺乏统一的数据管理平台，导致关键工艺参数与设备配置信息分散，难以有效追溯，限制了涂布、辊压、分切、卷绕等工序间的协同与优化，工艺知识积累与横向共享效率低。依赖文件化的工艺数据难以与MES系统或产线控制单元深度联动</p> | | | |
| <p>运营管理</p> | <p>主场景</p> | <p>A6.1 储能产品销售业务优化</p> <p>工具软件：</p> <p>CRM系统、MES系统、WMS系统、MRP系统、自研多维度营销数据平台</p> <p>数据要素：</p> <p>客户信息、销售预测数据、储能市场需求分析数据、销售规划数据、电池/PACK生产数据、原材料采购数据、物流安排数据、仓储数据、市场趋势数据、销售策略数据、用户画像数据、需求预测数据、关键运营指标数据、业务流程状态数据、市场数据、产品数据、客户数据、价值结构数据</p> <p>知识模型：</p> <p>销售预测模型、需求预测模型、经营绩效评价模型、用户画像模型</p> <p>人才技能：</p> <p>客户关系管理、系统集成、数据分析、销售规划、生产管理、采购管理、物流管理、仓储管理、市场分析、营销活动策划、用户画像构建、需求预测、绩效评价、业务决策</p> | | | |

| | | | | |
|-------|-----|--|---|---|
| | | <p>痛点问题:</p> <p>销售需求的响应速度较慢, 导致储能电池/电芯/PACK 订单交付时间延误, 生产计划的调整也未能及时跟上储能系统项目的交付节奏, 影响整体运营效率。</p> | | |
| 产品服务 | 主场景 | <p>A7.1 电池售后主动客户服务</p> <p>工具软件:</p> <p>软件开发工具 (IDEA、Eclipse)、软件组件 (Redis、Hadoop)、代码管理工具 (GitHub、Sonar)</p> <p>数据要素:</p> <p>工序数据、工艺标准、电芯与托盘绑定关系。</p> <p>知识模型:</p> <p>工艺标准优化算法模型、电芯与托盘绑定关系模型、计算逻辑模型、K 值算法模型、电池性能模型、寿命预测模型、故障诊断模型、回收与利用模型</p> <p>人才技能:</p> <p>编程技能、系统设计能力、化学工程</p> <p>痛点问题:</p> <p>在电芯和储能电池的交付与服务中, 处理客户投诉的闭环管理未能有效落实, 导致问题根源难以快速识别, 从而引发重复性问题。此外, 客户投诉的响应时间和处理效率较低, 直接影响了客户的满意度和公司的声誉。</p> | | <p>E7.1 储能设备远程运维</p> <p>工具软件:</p> <p>智慧运维系统、数字孪生技术、EMS、大数据分析平台</p> <p>数据要素:</p> <p>电池电压、电流、温度、SOC、用户行为数据</p> <p>知识模型:</p> <p>电池寿命模型、储能系统模型、故障预测模型、充电策略优化模型、大数据分析模型</p> <p>人才技能:</p> <p>数据分析能力、储能技术、电池技术</p> <p>痛点问题:</p> <p>储能电池具有较高的能量密度和化学反应性, 一旦发生安全事故后果严重; 同时废旧电池的处理和回收也是一项挑战</p> |
| | | <p>A8.1 电化学储能</p> <p>主材客户差异化</p> <p>管理</p> | <p>B8.1 电池供应链采购动态优化</p> <p>工具软件:</p> <p>QMS、统计过程控制 SPC、FMFA、IoT、PPAP 管理</p> | <p>D8.1 电池上下游供应链计划</p> <p>协同</p> <p>工具软件:</p> |
| 供应链管理 | 主场景 | | | |

| | | | | |
|------|--|---|---|---|
| | <p>工具软件: CRM、oracleJDE</p> <p>数据要素: 客户基本管理、交易数据、行为数据</p> <p>知识模型: 客户细分模型、客户价值评估模型、客户行为分析模型、成本管理模型、策略优化模型</p> <p>人才技能: 信息化技术、计算机管理、项目管理</p> <p>痛点问题: 客户数据繁多，未对客户进行有效的分类多维度管理，不能对不同等级或重要度不同的客户进行系统的差异化管理，提供差异化服务。</p> | <p>数据要素: 供应商 PPAP 资料、供应商审核数据、绩效评估数据、征收报告、检验异常处置单</p> <p>知识模型: SPC 分析模型、风险预测与评估模型、不合格处理及纠正与预防 CAPA 管理模型、供应商 PPAP 管理模型</p> <p>人才技能: 供应商 PPAP 管理, 审核管理、绩效模型构建及分析、不合格处理及纠正与预防 CAPA 管理</p> <p>痛点问题: 锂、钴等关键原材料的价格受供需关系、地缘政治、宏观经济等因素影响, 波动性较大。电池企业需要制定灵活的采购策略, 以应对价格波动带来的风险。电池制造对原材料的质量要求极高, 需要严格把控原材料的成分、性能等指标。</p> | <p>大数据、云计算、oracleJDE、山大华天 SRM、ERP、PLM、WMS</p> <p>数据要素: 业务对象数字化、业务过程数字化、业务规则数字化、信息共享</p> <p>知识模型: 供应链协同优化模型、数据可视化模型、智能算法模型</p> <p>人才技能: 供应链管理、数据分析与挖掘、工业互联网技术、风险管理</p> <p>痛点问题: 电芯、电池、储能产品的采购、生产和配送等环节缺乏有效的协调, 信息共享不畅, 导致计划难以统一, 资源浪费严重。此外, 传统的需求预测方法, 无法准确反映市场需求的快速变化, 造成电芯、电池、储能产品的采购、生产和配送计划与实际需求之间的脱节。</p> | <p>数据要素: 电池运行、客户信息、服务请求</p> <p>知识模型: 故障诊断模型、健康评估模型、客户需求预测模型</p> <p>人才技能: 数据分析与挖掘、故障诊断与修复、客户服务与沟通、持续学习</p> <p>痛点问题: 储能产品体积大、重量沉, 运输成本高, 且对运输方式和环境要求严格, 增加了物流成本。电池产品的交付往往需要经过多个环节, 且对交付时间要求严格, 导致交付时效性差, 影响生产进度。电池产品的追溯往往需要经过多个环节, 且对追溯信息要求严格, 导致追溯困难, 难以追踪产品来源和流向。</p> |
| 细分场景 | <p>A8.2 订单信息协同</p> <p>痛点问题: 电化学储能订单可能涉及多个生产环节、多个供应商和多个物流节点, 执行过程中需要协调各方资源, 复杂度高。当订单信息量过大, 容易出现记录不全或混乱的情况。</p> | | | <p>E8.2 电池回收协同</p> <p>痛点问题: 电化学储能电池回收过程透明性差、效率低、安全性差、价值低以及标准不统一和市场不完善。</p> |

表 6 - 行业系统化场景图谱示意图

2、行业智能化改造装备清单

| 序号 | 场景 | 装备名称 | 功能模块 | 价格区间（万元） | 国产/进口 |
|----|--------------|---------|--|----------|-------|
| 1 | 电芯工艺 动态优化 | 双行星搅拌系统 | 自动投料系统：可实现主粉、液料自动计量和投料；兼容性强：适应三元、铁锂体系，兼容干湿法工艺；定制手套箱：解决粉尘扩散、配料环境差难题；粉液料计量精度高。 | 15-30 | 国产 |
| 2 | | 电池涂布设备 | 将电池材料均匀涂覆在基材上，形成电池电极。通常包括涂布头、涂布辊、干燥系统和张力控制系统，确保涂布的均匀性和精度 | 500-2000 | 国产 |
| 3 | | 碾压设备 | 将涂布后的电极材料进行碾压，以提高材料的密度和导电性。主要模块包括碾压辊、压力控制单元和厚度检测装置 | 200-1000 | 国产 |
| 4 | | 卷绕设备 | 将正极片、负极片和隔膜卷绕成电池卷芯。包含卷绕轴、张力控制系统、纠偏装置和卷绕速度控制模块 | 200-1200 | 国产 |
| 5 | | 极片涂布设备 | 用于极片的涂布工艺，确保极片材料的均匀涂布。包含涂布头、干燥装置和厚度检测模块 | 300-1500 | 国产 |
| 6 | | 模切设备 | 将极片按照设计形状进行裁切。主要模块包括模切刀具、裁切平台和定位系统 | 100-500 | 国产 |
| 7 | | 极芯配对机 | 用于电芯极片的自动配对与堆叠，确保正负极片的对齐精度，提升电池一致性 | 50-150 | 国产 |
| 8 | | 激光模切机 | 使用分切机锂离子电池分切工序，把辊压后的极片从中间切割成等宽度 | 80-300 | 国产 |

| | | | | | |
|----|--------------------|------------|---|---------------------------------------|----------|
| 9 | 电池生产 | 焊接设备 | 用于电池组件的焊接，如顶盖焊接和密封焊接。包括激光发射器、焊接头、冷却系统和焊接参数控制系统 | 100-500 | 国产 |
| 10 | 设备运行 | 合芯贴胶机、 | 在电芯组装后贴覆绝缘胶带，防止短路并固定结构 | 30-120 | 国产 |
| 11 | 优化 | 包绝缘膜机 | 为电芯包裹绝缘膜（如青稞纸），提升安全性和绝缘性能 | 40-150 | 国产 |
| 12 | 电池质量 智能在线 检测 | 分容设备 | 对电池进行分容测试，以筛选出性能一致的电池单元。主要模块包括测试夹具、充放电电路和数据采集系统 | 100-800 | 国产 |
| 13 | | X-ray 检测仪 | 用于检测卷芯等内部结构，确保电池内部无缺陷。包括 X-ray 发射源、成像系统和缺陷分析模块 | 100-500 | 进口 |
| 14 | | 氦质谱检漏仪 | 用于密封焊接后的检漏，确保电池密封性。包括氦气注入系统、质谱检测模块和数据分析系统 | 50-300 | 进口 |
| 15 | | 涂布面密度检测仪 | 检测涂布面密度，确保涂布材料的均匀性。包括检测探头、数据处理模块和报警系统 | 50-300 | 国产 |
| 16 | | 极片外观瑕疵检测仪 | 检测极片外观瑕疵，如划痕、孔洞等。包括光学成像系统、图像处理模块和缺陷识别算法 | 50-300 | 国产 |
| 17 | | 辊压激光测厚仪 | 测量辊压后的厚度，确保材料厚度均匀。包括激光发射器、测量探头和数据处理系统 | 30-200 | 国产 |
| 18 | | 卷绕 CCD 检测仪 | 用于卷绕过程中的检测，确保卷绕质量。包括 CCD 相机、图像处理系统和缺陷识别模块 | 50-300 | 国产 |
| 19 | | 电池产线 | 组装设备 | 将电池组件进行组装，形成完整的电池包。包括机械臂、装配夹具和自动化输送系统 | 200-1000 |
| 20 | 柔性配置 | 叠片物流线 | 用于叠片工序的物流传输，确保物料的高效流转。包括输送带、定位系统和自动化控制系 | 100-800 | 国产 |

| | | | | | |
|----|--------------------|-----------------|---|----------|----|
| | | | 统 | | |
| 21 | | AGV 智能转运系统 | 用于物料的自动转运，提高物流效率。包括 AGV 小车、导航系统和调度软件 | 10-100 | 国产 |
| 22 | | 自动包装线 | 用于产品包装，提高包装效率和质量。包括包装机械手、包装材料供应系统和自动化控制系统 | 100-800 | 国产 |
| 23 | 电池生产 先进过程 控制 | 入壳压力检测 预警系统 | 检测电池入壳时的压力，防止过度压力导致电池损坏。包括压力传感器、数据采集模块和预警系统 | 50-300 | 国产 |
| 24 | | 自动注液生产 线 | 用于电池注液工序，确保注液的准确性和一致性。包括注液泵、注液头和液位控制系统 | 200-1000 | 国产 |
| 25 | | 热压化成生产 线 | 用于电池的热压化成工序，确保电池性能稳定。包括热压设备、温度控制系统和化成工艺模块 | 300-1500 | 国产 |
| 26 | | 智能高真空烤 箱 | 用于电芯的真空干燥，去除水分和溶剂，提升电池性能 | 200-800 | 进口 |
| 27 | 智能协同 作业 | 激光焊接设备 | 用于电池生产中的激光焊接工序，提供高精度焊接。包括激光发生器、焊接头和冷却系统 | 100-500 | 国产 |
| 28 | | 自动盖帽焊接 生产线 | 用于电池盖帽焊接，提供自动化焊接解决方案。包括焊接机器人、焊接头和质量检测系统 | 200-800 | 国产 |
| 29 | | 盖板转接片激 光焊接设备 | 用于电池盖板与转接片的高精度激光焊接，确保低热影响和高连接强度 | 100-500 | 国产 |
| 30 | | 入壳点焊机 | 将电芯焊接至金属外壳，通常采用中频逆变点焊技术，确保低电阻连接 | 50-200 | 国产 |
| 31 | 电池质量 | 模切极耳尺寸 | 检测模切极耳尺寸，确保尺寸精度。包括 CCD 相机、图像处理模块和尺寸测量算法 | 30-200 | 国产 |

| | | | | | |
|----|------------|--------------------|---|----------|----|
| | 精准追溯 | CCD 检测仪 | | | |
| 32 | | 胶带刻码机 | 在电池表面刻印追溯码或标识，通常结合激光打标技术 | 20-80 | 国产 |
| 33 | PACK 在 | 瑞能电池组测试系统 | 用于电池组的测试，评估电池组的性能和一致性。包括测试夹具、充放电设备和数据分析系统 | 200-1000 | 国产 |
| 34 | 线运行监测 | OCV 测试线 | 用于电池的开路电压测试，评估电池的初始性能。包括测试夹具、电压测量系统和数据记录模块 | 100-500 | 国产 |
| 35 | 人机协同制造 | 端子锁附机器人 | 用于端子锁附工序，提供高精度的锁附操作。包括机械臂、锁附工具和控制系統 | 50-300 | 国产 |
| 36 | 精益电池生产管理 | US5000 模块 组装焊接线 | 用于模块组装焊接，确保模块的结构完整性和电气连接。包括焊接机器人、焊接头和质量检测系统 | 300-1200 | 进口 |
| 37 | | CCD 相机 | 采集极片涂布、焊接、封装等工序的实时图像，用于缺陷检测。包括高分辨率相机、光学镜头和图像采集卡 | 1-20 | 国产 |
| 38 | | 智能检测设备 | 实时监测和数据分析，确保产品质量的稳定性和一致性。包括传感器、数据采集模块和分析软件 | 50-500 | 国产 |
| 39 | 电池制造安全风险监测 | 在线自动检测控制系统 | 集成大量全检仪器设备，实现重点工序、关键指标的质量检测。包括检测仪器、数据处理系统和自动化控制单元 | 100-500 | 国产 |
| 40 | | 注液前后称重检测设备 | 确保注液工序的精确性，保证电池质量 | 20-100 | 国产 |
| 41 | | 电芯最终尺寸检测设备 | 检测电芯的最终尺寸，确保符合设计要求 | 50-200 | 国产 |
| 42 | 储能关键 | 智能电表 | 采集设备电能消耗情况，实现能源管理。包括电能计量模块、 | 0.1-1 | 国产 |

| | | | | | |
|----|------------------|-----------------|--|----------|----|
| | 产线能耗 数据监测 | | 数据传输模块和分析系统 | | |
| 43 | 电池原料 智能仓储 | 全生命周期物料管理系统 | 用于从采购、库存、投产、出货到运维、售后等环节的数据管理。包括物料追踪模块、库存管理系统和数据分析模块 | 100-300 | 国产 |
| 44 | | AS/RS (自动化立体仓库) | 用于提升仓储的智能化水平,优化物料布局。包括货架系统、堆垛机和自动化控制系统 | 500-5000 | 国产 |
| 45 | | 堆垛机 | 用于自动化立体仓库中的货物存取,提高仓储效率。包括升降系统、行走系统和控制系统 | 50-300 | 国产 |
| 46 | | 四向穿梭车 | 用于仓储物流中的货物搬运,实现高效物流。包括穿梭车本体、导航系统和控制系统 | 30-150 | 国产 |
| 47 | 储能一体 化能效平衡与优化 | 1500V 储能电池测试系统 | 模拟储能电站、电动汽车、通信电源运行的各种工况,按照国际/国内/行业的检测标准及规范对储能电池组/电池包的各项电气性能进行综合测试,以获取全面、准确的检测数据,结合分析软件对电池的品质及成组特性进行综合评估。 | 45-55 | 国产 |
| 48 | | EMS (能量管理系统) | 实现对所有用电设备电能使用情况的实时监控与优化,减少能源浪费。包括电能监测模块、数据分析系统和优化控制单元 | 50-500 | 国产 |
| 49 | | 智能光伏微电网系统 | 推动清洁能源在企业中的使用,并有效降低生产能源使用量。包括光伏板、储能系统、逆变器和智能控制系统 | 100-1000 | 国产 |
| 50 | 电池物料 精准配送 | AGV (自动导引车) | 用于实现多任务协同运输,降低物流耗时。包括导航系统、驱动单元和控制系统 | 10-100 | 国产 |
| 51 | | 输送线 | 用于物料和产品的输送,提高物流效率。包括输送带、驱动电机和控制系统 | 50-500 | 国产 |

| | | | | | |
|----|-------------|------------|---|---------|----|
| 52 | | 提升机 | 用于物料和产品的垂直运输，实现多层仓储。包括提升装置、驱动系统和安全控制系统 | 20-200 | 国产 |
| 53 | | RGV（有轨导向车） | 用于仓储物流中的货物运输，实现自动化物流。包括轨道系统、驱动单元和控制系统 | 20-100 | 国产 |
| 54 | 电池原料资源动态配置 | 分拣机 | 用于物流中的货物分拣，提高分拣效率。包括分拣装置、控制系统和输送系统 | 100-500 | 国产 |
| 55 | 废气废水污染监测与管控 | 污染在线检测系统 | 污染在线检测系统与设施人员手机绑定，异常及时反馈到设施人员及后台，有利于及时进行处置异常，保证环保系统正常运行。另可与环保局后台无线数据传输，实现全过程环保数据采集、监管与分析优化。 | 30-40 | 国产 |

表 7- 行业智能化改造装备清单

3、数字化转型数据要素清单

| 序号 | 场景 | 数据要素类型 | 描述 |
|----|---------------|-------------|---------------------------------|
| 1 | 储能核心工艺环节数字化设计 | 客户端组件数据 | 参与虚拟试验和调试的软件模块产生的数据，例如模拟器、测试工具等 |
| 2 | | 数据序列化文件 | 将数据结构或对象转换为字节序列，方便数据存储和传输 |
| 3 | | 数据编码(UTF-8) | 统一的数据编码格式，确保数据在不同系统之间正确解析 |
| 4 | | 核心设备数据 | 参与电池研发的关键设备的数据，例如测试设备、分析仪器等 |
| 5 | | 制造环境数据 | 电池研发环境的参数，例如温度、湿度、压力等 |
| 6 | | 工艺流程 | 电池研发的步骤和方法，例如材料选择、配方设计、性能测试等 |
| 7 | | 3D 数字化模型 | 对电池研发环境和设备的 3D 建模，用于虚拟试验和调试 |
| 8 | | 仿真参数校验数据 | 仿真参数校验数据 |

| | | | |
|----|----------|-----------|-----------------------------|
| 9 | | 数据加密标准 | 数据传输过程中采用的加密算法和密钥管理规范 |
| 10 | | 版本控制日志 | 设计文件迭代过程中的版本变更记录 |
| 11 | 精益电池生产管理 | 原材料数据 | 用于生产电池的原材料信息，例如类型、规格、供应商等 |
| 12 | | 工艺参数 | 电池生产过程中的关键参数，例如温度、压力、时间等 |
| 13 | | 设备运行数据 | 生产线设备的运行状态和参数，例如速度、负荷、故障记录等 |
| 14 | | 产品数据 | 电池产品的信息，例如型号、规格、性能指标等 |
| 15 | | 质量数据 | 电池产品的质量检测结果，例如外观、性能、可靠性等 |
| 16 | | 环境数据 | 电池生产环境的数据，例如温度、湿度、粉尘浓度等 |
| 17 | | 生产批次追溯码 | 关联原材料、工艺参数和成品的唯一批次标识 |
| 18 | | 能耗监测数据 | 生产过程中的水、电、气消耗实时监测值 |
| 19 | | 人员操作认证数据 | 生产线操作人员的资质认证和权限记录 |
| 20 | | 电芯智能装配与质检 | 电芯参数数据 |
| 21 | 装配位置信息 | | 电芯在装配过程中的位置信息，例如坐标、角度等 |
| 22 | 焊接工艺参数 | | 焊接过程的参数，例如温度、电流、时间等 |
| 23 | 视觉图像数据 | | 电芯外观的图像数据，用于缺陷识别和装配质量检测 |
| 24 | 质量检测参数 | | 电芯质量检测的结果，例如缺陷类型、位置、程度等 |
| 25 | 追溯码信息 | | 用于追踪电芯生产过程的唯一标识码 |
| 26 | 装配夹具状态数据 | | 夹具定位精度和磨损程度的监测数据 |
| 27 | 质检算法版本 | | 视觉检测算法迭代版本及参数配置信息 |
| 28 | 机械臂运动轨迹 | | 自动化装配设备的运动路径规划数据 |
| 29 | PACK 车间 | 电池原始数据 | 电池的原始参数，例如容量、电压、内阻等 |

| | | | |
|----|------------|-----------|------------------------------|
| 30 | 智能排产 | 电性能 | 电池的性能指标，例如充放电效率、循环寿命等 |
| 31 | | 历史数据 | 电池生产的历史数据，例如生产批次、良率等 |
| 32 | | 设备参数 | 生产设备的参数，例如型号、规格、运行状态等 |
| 33 | | 工艺标准 | 电池生产的工艺标准，例如操作规程、质量控制标准等 |
| 34 | | 排产优化算法参数 | 智能排产系统使用的约束条件和优化权重 |
| 35 | | 设备维护计划数据 | 设备预防性维护的时间表和执行记录 |
| 36 | | 工装模具匹配表 | 不同电池型号与模具规格的对应关系表 |
| 37 | 电池售后主动客户服务 | 工序数据 | 电池生产过程中的工序信息，例如生产日期、操作人员等 |
| 38 | | 电芯与托盘绑定关系 | 用于追踪电池生产过程的绑定关系，例如电芯编号、托盘编号等 |
| 39 | | 电池客户基本信息 | 电池客户的姓名、联系方式、地址、邮箱等 |
| 40 | | 客户历史交互数据 | 过往服务记录、投诉记录、维修记录等 |
| 41 | | 客户设备数据 | 客户使用的电池型号、购买日期、使用环境等 |
| 42 | | 电池实时运行数据 | 电压、电流、温度、SOC、SOH（健康状态）等 |
| 43 | | 电池历史运行数据 | 充放电历史记录、故障历史记录等 |
| 44 | | 使用与维护数据 | 电池使用和维护过程中的数据，例如充放电记录、故障记录等 |
| 45 | | 服务工单数据 | 服务请求内容、服务类型、服务人员、服务时间、服务结果等 |
| 46 | | 服务资源数据 | 备件库存信息、服务人员技能信息、服务网点信息等 |
| 47 | | 客户反馈数据 | 客户满意度调查结果、客户评价等 |
| 48 | | 失效与返修记录 | 产品失效和返修的记录，例如失效原因、修复措施等 |
| 49 | | 回收与处置数据 | 电池回收和处置过程中的数据，例如回收量、处置方式等 |
| 50 | | 客户使用习惯分析 | 基于历史数据的充放电模式特征分析结果 |

| | | | |
|----|----------------------|------------------------|--------------------------------|
| 51 | | 电池退役预测指标 | 基于 SOH/SOC 的电池寿命终止预判参数 |
| 52 | | 远程诊断日志 | 运维人员远程接入设备的操作记录 |
| 53 | 数据驱动电 池产品设计 优化 | 电池研发数据 | 电池研发过程中的数据，例如材料特性、配方设计、性能测试等 |
| 54 | | 生产制造数据 | 电池生产过程中的数据，例如工艺参数、设备运行数据、质量数据等 |
| 55 | | 电池材料数据 | 材料的物理化学特性、性能参数、成本等 |
| 56 | | 电池结构数据 | 电池的结构设计参数、仿真分析结果等 |
| 57 | | 电池制造工艺数据 | 电池的生产工艺流程、参数设置、设备性能等 |
| 58 | | 竞品性能对比数据 | 同类产品的公开测试数据对比分析 |
| 59 | | 用户场景模拟数据 | 极端工况下的虚拟仿真测试结果集 |
| 60 | | 工艺偏差统计 | 历史生产参数与设计标准的偏离度分析 |
| 61 | | 电化学储能 主材客户差 异化管理 | 主材客户基本信息 |
| 62 | 交易数据 | | 客户的订单、采购记录等交易数据 |
| 63 | 行为数据 | | 客户的浏览记录、咨询记录等行为数据 |
| 64 | 供应商风险评估数据 | | 主材供应商的交付准时率和质量波动系数 |
| 65 | 合同履约率 | | 客户历史订单交付达成率的量化指标 |
| 66 | 技术响应记录 | | 客户特殊需求的技术支持响应时效数据 |
| 67 | 电池产线柔 性配置 | 产品结构数据 | 产品的结构设计数据，例如零部件清单、装配关系等 |
| 68 | | 工艺参数数据 | 产品生产工艺的参数，例如加工时间、温度、压力等 |
| 69 | | 仿真分析数据 | 产品结构的仿真分析结果，例如应力、变形等 |
| 70 | | 材料与设计变更信息 | 产品材料和设计的变更信息，例如材料替换、结构改进等 |
| 71 | | 产线切换时间记录 | 不同产品型号切换时的停机准备时长 |
| 72 | | 模块兼容性数据 | 设备接口协议与新型号产品的匹配验证结果 |

| | | | |
|----|---------------|---------|-------------------------------|
| 73 | 智能协同作业 | 成本管理数据 | 企业成本管理的相关数据，例如采购成本、生产成本、销售成本等 |
| 74 | | 流程控制数据 | 企业流程控制的相关数据，例如流程图、操作规程等 |
| 75 | | 订单协同数据 | 企业订单协同的相关数据，例如订单信息、交付计划等 |
| 76 | | 交付协同数据 | 企业交付协同的相关数据，例如物流信息、交付状态等 |
| 77 | | 资产链预算数据 | 企业资产链预算的相关数据，例如设备预算、人员预算等 |
| 78 | | 采购申请数据 | 企业采购申请的相关数据，例如采购申请单、审批流程等 |
| 79 | | 合同及执行数据 | 企业合同及执行的相关数据，例如合同条款、执行进度等 |
| 80 | | 发票及付款数据 | 企业发票及付款的相关数据，例如发票信息、付款记录等 |
| 81 | | 折旧数据 | 企业资产折旧的相关数据，例如折旧率、折旧金额等 |
| 82 | | 跨部门协作日志 | 不同部门数据对接的问题记录和解决方案 |
| 83 | | 项目里程碑数据 | 关键节点达成时间和资源投入对比分析 |
| 84 | 储能设备远程运维 | 电池电压 | 电池的电压值 |
| 85 | | 电流 | 电池的电流值 |
| 86 | | 温度 | 电池的温度值 |
| 87 | | SOC | 电池的荷电状态 |
| 88 | | 用户行为数据 | 用户使用储能设备的记录，例如充放电时间、使用频率等 |
| 89 | | 固件升级记录 | 设备控制系统的版本更新历史及变更说明 |
| 90 | | 地理位置信息 | 设备部署的经纬度坐标及环境特征数据 |
| 91 | 电池主材制造工艺数字化设计 | 产品结构数据 | 电芯的结构设计数据，例如零部件清单、装配关系等 |
| 92 | | 工艺参数数据 | 电池主材生产工艺的参数，例如加工时间、温度、压力等 |
| 93 | | 仿真分析数据 | 电芯结构的仿真分析结果，例如应力、变形等 |

| | | | |
|-----|---------------|-----------|------------------------------|
| 94 | 配方优化与迭代 | 材料成分和比例组合 | 材料的组成成分和比例 |
| 95 | | 配方性能数据 | 材料的配方性能指标, 例如电导率、扩散系数、热导率等 |
| 96 | 电芯工艺动态优化 | 装配结构数据 | 电芯的装配结构设计数据, 例如零部件清单、装配关系等 |
| 97 | | 工艺参数数据 | 电芯生产工艺的参数, 例如加工时间、温度、压力等 |
| 98 | | 仿真分析数据 | 电芯结构的仿真分析结果, 例如应力、变形等 |
| 99 | | 失效与返修记录 | 电芯失效和返修的记录, 例如失效原因、修复措施等 |
| 100 | 储能核心工艺环节数字化设计 | 系统和设备数据 | 储能系统及其设备的参数信息, 例如型号、规格、性能指标等 |
| 101 | | 数据格式和协议 | 系统和设备之间数据交换的格式和协议 |
| 102 | | 系统架构设计 | 储能系统的整体架构、模块组成、功能划分等 |
| 103 | | 电气设计 | 储能系统的电气原理图、电路图、布线图等 |
| 104 | | 控制设计 | 储能系统的控制策略、算法、软件程序等 |
| 105 | | 设备参数 | 储能设备的型号、规格、性能指标、工作原理等 |
| 106 | | 电池材料数据 | 电池材料的物理化学特性、性能参数、成本等 |
| 107 | | 其他材料数据 | 储能系统其他组成部分的材料数据, 例如容器、连接器等 |
| 108 | 设备故障诊断与预测 | 设备运行数据 | 设备的运行状态和参数, 例如速度、负荷、温度、振动等 |
| 109 | | 故障数据 | 设备故障的记录, 例如故障时间、故障类型、故障原因等 |

表 8 数字化转型数据要素清单

4、知识模型资源清单

| 序号 | 场景 | 知识模型 | 描述 |
|----|--------|-------------|------------------------------------|
| 1 | 智能协同作业 | 跨部门协同调度模型 | 支持跨部门的协同调度与资源整合, 提升执行效率。 |
| 2 | | 实时任务优先级分配模型 | 动态调整生产任务的优先级序列, 结合资源负载和订单紧急度实现敏捷响应 |

| | | | |
|----|------------------|-------------|--|
| 3 | 数据驱动电池产品 设计优化 | 电池性能模型 | 预测电池在不同工况下的放电特性、循环寿命和能量效率，优化电池设计和管理。 |
| 4 | | 产品基础数据模型 | 记录和管理产品的基础信息，如尺寸、重量和性能指标。 |
| 5 | | 电池能源分配模型 | 分析电池特性，优化能源分配策略。 |
| 6 | | 电化学参数仿真模型 | 模拟不同电解液配方与电极材料的交互作用，加速新型电池研发迭代 |
| 7 | 设备故障诊断与 预测 | 生产设备预警模型 | 在生产过程中监控设备运行状态，避免非计划停机。 |
| 8 | | 故障诊断模型 | 结合传感数据和机器学习，实现设备故障预测与诊断，提高生产线稳定性和维护效率。 |
| 9 | | 设备故障诊断模型 | 识别设备运行异常原因并提出修复建议。 |
| 10 | | 设备故障预测与预防模型 | 预测设备潜在故障并提前采取措施，减少停机风险。 |
| 11 | | 设备维护成本优化模型 | 结合故障预测结果制定最优维护方案，平衡维修成本与停机损失 |
| 12 | 精益电池生产管 理 | 订单管理系统模型 | 管理订单流转和生产任务分配，确保按时交付。 |
| 13 | | 成本管理模型 | 监控和分析生产、销售、运营成本，优化成本结构，提高企业盈利能力。 |
| 14 | | 厂区成本管理模型 | 优化工厂建设成本分配，提高投资效益。 |
| 15 | | 生产排程冲突检测模型 | 识别设备、物料、人力之间的排程矛盾，提供多目标优化方案 |
| 16 | 工业数字基础设 施集成 | 工厂数据采集模型 | 采集和分析工厂内的安全数据，为决策提供支持。 |
| 17 | | 数据分析模型 | 整合市场、客户和销售数据，提供深度数据挖掘和分析，支持精准营销决策。 |
| 18 | | 数据可视化模型 | 将复杂的数据转换为直观的图表和仪表盘，提升数据洞察力，支持决策优化。 |
| 19 | | 厂区数据分析模型 | 分析工厂建设数据，支持科学决策。 |
| 20 | | 厂区数据可视化模型 | 通过图形化方式展示工厂设计方 |

| | | | |
|----|---------------|---------------|-------------------------------------|
| | | | 案。 |
| 21 | | 边缘计算数据处理模型 | 在设备端完成实时数据清洗与特征提取，降低云端传输延迟。 |
| 22 | 废气废水污染监测与管控 | 环境和设备预警模型 | 监控环境和设备状态，实时预警潜在的安全隐患。 |
| 23 | | 环保风险预测与评估模型 | 分析环保风险并制定应对措施，保障工厂合规。 |
| 24 | | 环保管控模型 | 监控和优化废气、废水的排放过程，降低环保风险。 |
| 25 | | 排放合规性动态评估模型 | 实时比对环保法规要求与排放数据，生成合规性报告及整改建议。 |
| 26 | | 工艺设计资源模型 | 集成工艺参数、设备资源和材料特性，优化生产流程，提高工艺设计效率。 |
| 27 | 电池主材制造工艺数字化设计 | 工艺设计资源模型 | 管理工艺设计中的物料、设备和人力资源。 |
| 28 | | 材料科学模型 | 分析材料特性、加工性能和应用场景，优化材料选择，提高产品性能和耐用性。 |
| 29 | | 材料科学模型 | 分析材料特性，为工艺设计提供科学依据。 |
| 30 | | 工艺仿真和优化模型 | 通过模拟与优化，提升工艺流程的效率与可行性。 |
| 31 | | 工艺参数自优化模型 | 基于实时生产数据自动调整温度、压力等核心工艺参数。 |
| 32 | 电池主材供应商数字化管理 | 供应商分类与定位模型 | 根据供应商能力与风险进行分类与管理。 |
| 33 | | 供应商绩效管理模型 | 评估供应商表现，优化采购决策。 |
| 34 | | 供应商风险管理模型 | 预测并规避供应链中的风险。 |
| 35 | | 供应商 PPAP 管理模型 | 管理生产件批准流程，确保供应商产品质量。 |
| 36 | 电池质量智能在线检测 | 生产质量控制模型 | 实时监控生产质量，确保产品符合标准。 |
| 37 | | SPC 分析模型 | 采用统计过程控制技术，监控生产过程中的质量波动。 |
| 38 | | 质量预测与控制模型 | 预测质量问题并实时调整工艺参数以确保合格率。 |
| 39 | | 产品故障预警模型 | 预测产品故障并提供远程支持，提升客户满意度。 |
| 40 | | 在线缺陷模式分类模型 | 运用深度学习对 X 光检测图像进 |

| | | | |
|----|-------------|-------------|-------------------------------------|
| | | | 行缺陷类型自动识别与分级。 |
| 41 | 电池质量精准追溯 | 一致性对比模型 | 支持产品批次间的一致性分析，确保生产质量和标准化，提高产品可靠性。 |
| 42 | | 寿命预测模型 | 基于运行数据和环境因素，预测产品寿命，优化维护计划，降低运营成本。 |
| 43 | | 不合格处理及纠正模型 | 管理质量问题的根本原因分析及改进措施。 |
| 44 | | 工艺一致性模型 | 分析工艺一致性，确保产品质量。 |
| 45 | | 全生命周期数据链模型 | 构建从原材料批次到终端产品的完整数据追溯体系。 |
| 46 | | 产品寿命预测模型 | 预测产品寿命并优化设计以延长使用周期。 |
| 47 | | 电化学材料衰退模型 | 预测材料性能衰退，为能源管理提供支持。 |
| 48 | 电池制造安全风险监测 | 安全性能模型 | 评估产品在不同工况下的安全性能，确保符合行业安全标准，提高产品可靠性。 |
| 49 | | 安全培训虚拟仿真模型 | 构建三维应急演练场景，评估人员安全操作规范掌握程度。 |
| 50 | | 质量风险预测与评估模型 | 预测质量风险并评估其影响，制定应对策略。 |
| 51 | | 工厂安全能力模型 | 评估工厂设备和流程的安全性，降低事故风险。 |
| 52 | | 储能系统热失控预警模型 | 用于电池系统的热失控监测和预警，确保安全性。 |
| 53 | 电池原料智能仓储 | 库存优化模型 | 优化库存水平，减少过剩和短缺的风险。 |
| 54 | | 货物存储上架模型 | 指导货物上架顺序和存放位置，提高仓储效率。 |
| 55 | | 动态补货决策模型 | 结合供应商交货周期与产线消耗速率，生成智能补货策略。 |
| 56 | | 库存优化模型 | 减少供应链中的库存积压与短缺。 |
| 57 | 电池研发虚拟试验与调试 | 电子系统设计模型 | 支持电子系统的结构化设计与优化，提升电路可靠性和生产可行性。 |
| 58 | | 产品设计真实性模型 | 为产品设计提供真实场景模拟数据，提高适配性。 |
| 59 | | 多物理场耦合仿真模型 | 集成热-力-电化学多维度仿真，预 |

| | | | |
|----|------------|-------------|--------------------------------|
| | | | 测电池包结构可靠性。 |
| 60 | | 电子系统设计模型 | 优化电子产品的设计与布局,提升性能。 |
| 61 | 电池物料精准配送 | 物料收发货模型 | 管理仓储中的物料进出,确保库存精准。 |
| 62 | 电池售后主动客户服务 | 产品维修知识管理模型 | 存储维修案例与知识库,支持售后问题解决。 |
| 63 | | 服务响应算法模型 | 通过智能化算法提升供应链响应速度与精度。 |
| 64 | | 服务资源智能匹配模型 | 根据客户地理位置和服务需求,自动分配最优技术服务团队。 |
| 65 | | 客户设备健康画像模型 | 综合历史维修数据与实时运行状态,构建设备健康度评估体系。 |
| 66 | | 服务策略与优化模型 | 优化供应链服务策略与执行路径。 |
| 67 | | 服务触发与反馈机制模型 | 设计供应链中的反馈和激励机制,提升整体效率。 |
| 68 | | 服务数据分析与决策模型 | 支持供应链服务中的大数据决策分析。 |
| 69 | 电池生产先进过程控制 | 生产流程模型 | 描述生产过程的结构与逻辑,优化生产操作。 |
| 70 | | 工艺稳定性监测模型 | 通过统计过程控制(SPC)识别工艺参数漂移趋势,提前预警。 |
| 71 | | 多参数融合预警模型 | 整合温度、电压、气体浓度等多维度数据,提升热失控预测精度。 |
| 72 | 电池生产设备运行优化 | 设备维修模型 | 优化设备维修计划,平衡成本与效率。 |
| 73 | | 设备健康评估模型 | 评估设备运行状态和寿命,支持维修决策。 |
| 74 | | 厂区仿真和优化模型 | 用于厂区布局规划和资源配置优化。 |
| 75 | 电池生产计划优化 | 生产计划与排程模型 | 用于优化工厂生产任务的时间安排,最大化资源利用率并减少延误。 |
| 76 | | 产能柔性调配模型 | 根据设备可用性动态调整各产线任务分配,提升整体 OEE |
| 77 | 电池上下游供应 | 供应链协同模型 | 协调仓储与物流流程,提升整体效率。 |
| 78 | | 物流路径韧性优化模型 | 考虑天气、交通等不确定性因素, |

| | | | |
|----|------------------|--------------|---|
| | 链计划协同 | | 制定多预案运输方案。 |
| 79 | | 供应链协同优化模型 | 优化供应链中各环节的协作效率。 |
| 80 | | 供应链数据分析与决策模型 | 支持供应链优化的大数据分析 与决策制定。 |
| 81 | 电池回收协同 | 回收与利用模型 | 优化废旧产品回收与再利用路径， 提高资源利用率，支持可持续发展。 |
| 82 | | 资源回收与利用模型 | 优化资源回收和再利用流程，减少 环境污染。 |
| 83 | | 拆解工艺优化模型 | 基于电池包结构特征制定最优拆 解路径，提高材料回收率 |
| 84 | | 废旧产品回收与利用模型 | 支持废旧产品回收，提高资源利用 效率。 |
| 85 | 电池供应链采购 | 策略优化模型 | 基于市场变化和企业目标，优化营 销策略，提高市场竞争力和客户满 意度。 |
| 86 | 动态优化 | 供应商弹性评估模型 | 量化供应商应对突发事件的能力， 建立弹性供应链指标体系。 |
| 87 | | 供应链算法模型 | 通过算法支持供应链优化决策。 |
| 88 | 电池产线柔性配 | 数字孪生仿真产线模型 | 通过虚拟仿真实现生产线优化和 工艺改进。 |
| 89 | 置 | 产线重构仿真模型 | 虚拟验证不同设备布局方案对换 型时间的影响 |
| 90 | 储能一体化能效 平衡与优化 | 能源管理模型 | 优化能源使用，提升环保绩效。 |
| 91 | | 微电网协调控制模型 | 优化储能系统与可再生能源的协 同调度策略 |
| 92 | | 能源管理模型 | 实时监控和优化能源使用，降低能 耗。 |
| 93 | 储能产品质量优 化 | 产品充电策略优化模型 | 为电池产品提供最佳充电策略，延 长使用寿命。 |
| 94 | | 充放电策略自适应模型 | 根据电池健康状况动态调整充放 电曲线，延缓容量衰减。 |
| 95 | | 储能系统模型 | 优化工厂储能系统的设计与运行， 提高能源利用率。 |
| 96 | 储能产品销售业 | 销售预测与分析模型 | 基于历史销售数据和市场趋势提 供销售预测与分析，优化生产与库 存管理。 |
| 97 | 务优化 | 客户需求预测模型 | 分析市场需求变化，支持产品规 划。 |
| 98 | | 客户细分模型 | 根据客户行为和特征进行市场划 |

| | | | |
|-----|-----------|-----------|---------------------------|
| | | | 分，提高营销精准性。 |
| 99 | | 价格敏感性预测模型 | 分析市场需求弹性，制定动态定价策略提升产品竞争力。 |
| 100 | | 客户价值评估模型 | 评估客户终身价值，优化资源分配。 |
| 101 | | 销售预测与分析模型 | 预测未来销售趋势，制定营销策略。 |
| 102 | PACK 车间智能 | 任务调度优化模型 | 通过算法优化任务分配和资源调度，提高生产效率。 |
| 103 | 排产 | 模组装配平衡模型 | 优化 PACK 线各工站节拍匹配，消除生产瓶颈。 |

表 9 - 知识模型资源清单

5、工具软件清单

| 序号 | 工具软件 | 描述 | 投入区间 (万元) | 国产/ 进口 |
|----|------------|---|--------------|-----------|
| 1 | 云台温度检测 | (1) 区域温度监控，节能降本； (2) 温度监测，确保安全； (3) 数据存储，确保追溯； (4) 报警提示，多维联动； (5) 云台监测，远程维护 | 50 | 国产 |
| 2 | E-SOP 系统 | 实现 SOP 快速检索与实时更新，终端呈现； 班前培训，岗位点检等 | 11-15 | 国产 |
| 3 | MES 制造执行系统 | (1) 生产计划排程； (2) 生产过程控制； (3) 生产数据采集； (4) 生产质量管理； (5) 生产报告分析； | 20-150 | 国产 |
| 4 | PLM 系统 | 产品生命周期管理 (PLM) 是一种企业管理方法，负责改进企业的产品设计和开发过程，最终实现产品优化，并提高客户满意度。PLM 系统包括三个方面的意涵：全生命周期管理、集成式数据管理和协同工作平台。 | 50-100 | 国产 |
| 5 | MES 系统 | 制造执行管理系统 | 100-200 | 国产 |
| 6 | ERP 系统 | 企业资源管理系统 | 100-200 | 国产 |
| 7 | 设备管理系统 | 对设备从购置、验货、投入使用，到保养、维护和报废的整个生命周期，进行相关数据的收集、整理和分析。建立对设备的基础档案、点检、保养、故障、备件库存的系统化管理，并 | 50-100 | 国产 |

| | | | | |
|----|------------|---|---------|----|
| | | 可以通过 PC 终端、大屏显示等方式查看设备的实时信息。 | | |
| 8 | MAAS | 将数据从 PLC 中实时采集后，存入数据库中 进行监控分析。 | 50-250 | 国产 |
| 9 | 伽利略系统 | (1) 设备运行管理，可快速查看设备综合运行效率； (2) 设备故障分析诊断功能，如高频故障分析，设备 Loss 分析等，帮助维护人员快速锁定问题并解决问题； (3) 设备部件运行参数（伺服电机扭矩）实时监控预测，提前预警检查维护，减少设备异常停机。 | 100-500 | 国产 |
| 10 | SPC 系统 | 关键参数管理，可对关键过程进行监控，发现异常及时报警并停机。 | 20-100 | 国产 |
| 11 | 数据决策系统 | 对可疑品进行日常管理，并统一进行分析。 | 50-200 | 国产 |
| 12 | IMS 问题管理平台 | 对关键问题进行系统管理评审，供查阅和进度查询。 | 30-150 | 国产 |
| 13 | 安心睡系统 | 提前识别、预测电池生产活动中的各种高、中风险并及时本地、线上报警，快速响应处理。 | 10-50 | 国产 |
| 14 | OTC | 在 OTC 中实现普通订单、关联订单、寄售订单的开票管理，包括开票通知单录入和审核、发票信息登记、退票、取消开票、发票邮寄、回执核销、核销提前开票、确认收入等功能；满足世贸开票与产品公司的开票通知单关联操作的要求；满足寄售订单根据实际的使用客户进行消耗登记及开票的要求。 | 50-200 | 国产 |
| 15 | 物流仓储系统 | 通过 WMS 与 WCS 系统运行调度和数据对接，电池从一次注液至分档的自动流转，过程中使用输送线、堆垛机、桁架机械手、六轴机械手替代人工搬运，实现 13 道工序的互通，提升工作效率。电池通过二维码与托盘条码进行追踪，过程中数据均通过 MES 系统进行采集追踪。 | 100-500 | 国产 |
| 16 | SRM 和震坤行 | 通过对信息流、物流、资金流的控制，从采购原材料开始，制成中间产品以及最终产品，最后由销售网络把产品送到消费者手中的，将制造商、分销商、零售商，直到最终用户连成一个整体的功能网链结构。 | 50-300 | 国产 |
| 17 | 运维派单系统 | 实现客户快速报备故障，使运维部门有效从横向、纵向的角度分析订单、管理现场维修人员。全程实时可视化，管理者可以全程掌控工程师 | 20-100 | 国产 |

| | | | | |
|----|-------------|--|--------|----|
| | | 的工作状态，了解服务进度与服务结果，为之后服务运营提供科学依据。 | | |
| 18 | WMS（仓库管理系统） | <p>库存管理：实时更新库存信息，支持库存盘点和库存预警。</p> <p>入库管理：管理原材料和成品的入库操作，支持自动入库。</p> <p>出库管理：管理原材料和成品的出库操作，支持自动出库。</p> <p>库存优化：通过数据分析优化库存布局，减少库存成本。</p> <p>物流调度：支持 AGV 等物流设备的调度，提高物流效率。</p> <p>数据分析：生成库存报表，支持库存分析和决策支持。</p> | 3-300 | 国产 |
| 19 | QMS（质量管理系统） | <p>质量标准管理：定义和管理质量标准和规范。</p> <p>质量检测：支持在线和离线质量检测，记录质量数据。</p> <p>质量追溯：通过条码和批次管理，实现质量追溯。</p> <p>缺陷管理：记录和分析缺陷数据，支持缺陷改进计划。</p> <p>数据分析：生成质量报表，支持质量改进决策。</p> <p>客户反馈管理：管理客户质量反馈，支持客户满意度提升。</p> | 2-100 | 国产 |
| 20 | BI（商业智能系统） | <p>整合来自 ERP、MES、WMS 等系统的数据，提供多维度数据分析和数据挖掘功能。</p> <p>报表生成：生成各种管理报表，支持决策支持。</p> <p>数据可视化：通过仪表盘和图表展示关键指标。</p> <p>预测分析：基于历史数据进行预测分析，支持生产计划和资源优化。</p> <p>实时监控：实时监控生产、库存和质量等关键指标。</p> | 0.5-50 | 国产 |
| 21 | 大数据分析平台 | <p>从各种设备和系统中采集数据，支持大规模数据的存储和管理。</p> <p>数据分析：提供高级数据分析工具，支持数据挖掘和机器学习。</p> <p>数据可视化：通过图表和仪表盘展示分析结果。</p> <p>预测建模：基于历史数据建立预测模型，支持决策支持。</p> | 5-500 | 国产 |

| | | | | |
|----|---------------------|--|---------|----|
| | | 实时分析：支持实时数据处理和分析。 | | |
| 22 | 数字孪生平台 | <p>创建工厂、设备和工艺的 3D 数字模型，将实时生产数据与数字模型结合。</p> <p>仿真分析：通过仿真技术预测生产过程和设备行为。</p> <p>故障预测：基于模型预测设备故障和维护需求。</p> <p>优化建议：提供生产优化和设备维护的建议。</p> <p>可视化管理：通过 3D 界面展示生产过程和设备状态。</p> | 10-1000 | 国产 |
| 23 | CATIA（计算机辅助设计软件） | <p>创建产品的 3D 模型，支持复杂几何形状的设计。</p> <p>装配设计：支持多个部件的装配设计，确保装配精度。</p> <p>工程分析：进行结构、热力学等工程分析。</p> <p>数据管理：管理设计数据，支持版本控制和数据共享。</p> <p>协同设计：支持多用户协同设计，提高设计效率。</p> <p>仿真优化：结合仿真工具进行设计优化。</p> | 10-500 | 国产 |
| 24 | ABAQUS（有限元分析软件） | <p>结构分析：进行结构强度、变形和稳定性分析。</p> <p>热力学分析：分析材料的热传导和热膨胀行为。</p> <p>流体动力学分析：分析流体流动和传热行为。</p> <p>多物理场分析：支持多物理场耦合分析。</p> <p>优化设计：基于分析结果进行设计优化。</p> <p>数据可视化：通过图表和动画展示分析结果。</p> | 30-200 | 国产 |
| 25 | StarCCM+（计算流体动力学软件） | <p>流体流动分析：分析流体在设备和管道中的流动行为。</p> <p>传热分析：分析热传递过程，优化热管理系统。</p> <p>多相流分析：分析多相流体的相互作用。</p> <p>湍流分析：分析湍流行为，优化流动效率。</p> <p>优化设计：基于分析结果进行设计优化。</p> <p>数据可视化：通过图表和动画展示分析结果。</p> | 10-100 | 国产 |
| 26 | SAP（系统应用与产品） | <p>财务管理：支持会计核算、成本管理和财务报表生成。</p> <p>人力资源管理：支持员工信息管理、考勤和绩效评估。</p> <p>销售与分销：管理销售订单、客户关系和销售流程。</p> <p>物料管理：支持库存管理、采购管理和物料需</p> | 10-500 | 国产 |

| | | | | |
|----|---------------|--|---------|----|
| | | 求计划。 生产计划与控制：生成生产计划，监控生产进度。 数据分析：生成各种管理报表，支持决策支持。 | | |
| 27 | MRP（物资需求计划） | 基于销售订单和库存情况预测物资需求。 采购计划：生成采购计划，跟踪供应商交货情况。 库存管理：实时更新库存信息，支持库存盘点和库存预警。 生产计划：根据需求预测生成生产计划。 数据分析：生成物资需求报表，支持决策支持。 | 3-50 | 国产 |
| 28 | CRM（客户关系管理系统） | 管理客户的基本信息、联系方式和交易记录。 销售管理：管理销售机会、销售漏斗和销售流程。 客户服务：支持客户咨询、投诉和售后服务管理。 市场活动管理：管理市场活动计划和执行情况。 数据分析：生成客户关系报表，支持客户关系优化。 客户反馈管理：管理客户反馈，支持客户满意度提升。 | 0.3-100 | 国产 |
| 29 | Unity3D | 用于构建数字孪生平台，实现电池虚拟试验和调试 | 0.3-1 | 进口 |
| 30 | thingworx 平台 | 构建工业数字基础设施，实现设备连接、数据采集和分析 | 5-10 | 进口 |
| 31 | 工业视觉识别平台 | 具备工业环境下的图像识别、测量、检测等功能。用于电芯智能装配与质检，例如缺陷检测、尺寸测量等 | 5-20 | 国产 |
| 32 | OracleJDE | 企业资源计划(ERP)软件，提供财务、供应链、制造、资产管理等功能。用于企业资源管理、订单管理、财务管理等。 | 20-200 | 进口 |
| 33 | 山大华人 SRM | 提供供应商管理、采购管理、合同管理等功能。用于电池上下游供应链计划协同，优化采购流程 | 5-20 | 国产 |
| 34 | 唯智 WMS | 用于电池原料智能仓储，优化仓库管理流程 | 5-20 | 国产 |
| 35 | 泛微 OA | 提供流程审批、文档管理、协同办公等功能，用于企业内部协同办公，提高办公效率 | 5-20 | 国产 |
| 36 | 帆软 BI | 提供数据采集、数据分析、数据可视化等功能。用于生产数据分析、运营看板展示等 | 5-20 | 国产 |
| 37 | 电池售后主动 | 基于 IDEA、Eclipse、Redis、Hadoop、GitHub、 | 5-20 | 国产 |

| | | | | |
|----|------------|--|--------|----|
| | 客户服务工具软件 | Sonar 开发，用于售后服务。 | | |
| 38 | 智慧运维系统 | 基于物联网、大数据、人工智能等技术开发的，用于实现设备状态监测、故障预警、预测性维护等功能。用于储能设备远程运维，提高设备运维效率。 | 30-300 | 国产 |
| 39 | 统计过程控制 SPC | 用于质量数据分析、过程监控、异常预警等 | 5-20 | 国产 |
| 40 | FMFA | 识别潜在的失效模式，评估其对系统的影响，并制定相应的预防措施 | 5-20 | 国产 |
| 41 | PPAP 管理开发 | 用于管理生产件批准流程，确保产品质量符合要求 | 5-20 | 国产 |
| 42 | 帆软 report | 生产数据报表生成、运营数据报表生成等 | 5-20 | 国产 |

表-10 工具软件清单

6、网络化联接设备清单

| 序号 | 设备名称 | 适用场景 | 主要功能 | 投入区间（万元） | 国产/进口 |
|----|-------|-------------------|----------------------|----------|-------|
| 1 | PRRU | AGV、无人远控等无线网络场景应用 | 工厂室内 5G 网络无线覆盖 | 1-2 | 国产 |
| 2 | AAU | AGV、无人远控等无线网络场景应用 | 工厂室外内 5G 网络无线覆盖 | 10-20 | 国产 |
| 3 | UPF | AGV、无人远控等无线网络场景应用 | 用户面数据处，保障企业数据不出企业/园区 | 20-40 | 国产 |
| 4 | 汇聚&接入 | 通用 | 网络架构中的关键组件，位于网络 | 15-150 | 国产 |

| | | | | | |
|---|---------------|---------------------|---|--------|----|
| | 交换机 | | 的核心层（或称主干层），负责高速、高效地转发和处理大量数据流量。主要包含：高速数据交换、三层路由功能、冗余设计与高可用性、QoS、访问控制列表（ACL）、虚拟化与网络分段、网络管理与监控等功能。 | | |
| 5 | 工业智能网关 | 通用 | 通过连接传感器、执行器和控制器等设备，收集关键数据（如温度、压力、流量等）并传输到云端或本地服务器 | 20-100 | 国产 |
| 6 | 可编程逻辑控制器（PLC） | 电池产线柔性配置、电池生产先进过程控制 | 工业自动化控制系统的核心设备，其主要功能包括逻辑控制、顺序控制、定时与计数、数据处理、运动控制、通信功能、扩展与模块化以及故障诊断与安全保护。 | 30-100 | 国产 |
| 7 | MES 交换机 | 电池生产先进过程控制 | 有效地转发来自各个生产设备的数据包，确保信息的快速传递。 | 15-150 | 国产 |
| 8 | 堡垒机 | 生产制造、运维服务 | 核心系统运维和安全审计管控管理，包括：控制用户可以登录哪些资产（事先防范和事中控制），录 | 5-50 | 国产 |

| | | | | | |
|----|-------|-----------------------|---|--------|----|
| | | | 像记录登录资产后做了什么 | | |
| 9 | 企业云盘 | 储能设备远程运维、电池供应链采购动态优化 | 基于网盘的企业文件存储，支持本地化虚拟盘操作，数据云端存储，日志管理，安全操作留痕、打印留底、审计追溯、具备文档管控安全体系、安全预警分析（权限、IP绑定、加密、动态水印、外发限制、文控流程审批、数据摆渡、敏感操作预警）等功能 | 5-50 | 国产 |
| 10 | 负载均衡 | 储能产品销售业务优化、储能系统信息安全建设 | 优化网络流量分配、提高系统可用性和响应速度，主要包含：流量分发、健康检查、会话保持、内容路由、SSL卸载、性能优化与安全防护、可扩展性与高可用性、监控与管理等功能 | 20-100 | 国产 |
| 11 | 工业防火墙 | 通用 | 为工业控制系统提供全面、深入的安全防护，有效抵御网络攻击，保护工业生产过程的连续性和安全性。主要包含：工业协议深度解析、访问控制、入侵检测与防御、安全审计与日志记录、工控设备资产管理、安全策略自动化、远程访问与 | 10-50 | 国产 |

| | | | | | |
|----|----------|-------------------|---|---------|----|
| | | | VPN、高可用性与冗余设计等功能 | | |
| 12 | 上网行为管理设备 | 智能协同作业、储能系统信息安全建设 | 提高员工工作效率、保护知识产权、遵守数据保护法规，并维护一个安全、健康、高效的网络环境。主要包含：网页访问控制与过滤、应用程序管控、网络活动审计、文件操作监控、外设管理、行为分析与报表、实时监控与警报、移动设备管理（MDM）等功能 | 10-30 | 国产 |
| 13 | EDS 存储 | 通用 | 提供了高效、可靠、易管理的存储服务，用于虚拟化环境、数据库、大数据分析、云计算、备份归档等多种应用场景。优化存储资源利用，确保数据安全，简化运维管理。 | 20-100 | 国产 |
| 14 | 超融合服务器 | 通用 | 将计算、存储、网络和管理功能集成到一个软件定义的平台上的系统，简化 IT 基础设施的管理，提高资源利用率和灵活性，同时降低总体拥有成本 | 100-500 | 国产 |

| | | | | | |
|----|-------------------|----|-------------------------------|--------|----|
| 15 | 工业 PON (无源光网络) | 通用 | 支持多种工业协议的解析和转换， 实现设备间的互联互通 | 50-200 | 国产 |
|----|-------------------|----|-------------------------------|--------|----|

表 11 - 网络化联接设备清单

7、行业数字化转型人才技能清单

| 序号 | 人才技能类型 | 描述 |
|----|-----------|---|
| 1 | 数据科学与分析 | 具备数据挖掘、数据清洗、数据分析和数据可视化等技能，能够从海量数据中提取有价值的信息，为决策提供支持。 |
| 2 | 软件开发与系统架构 | 熟练掌握编程语言和开发工具，能够设计、开发和维护电化学储能系统的软件系统，包括储能管理系统、能源管理系统等。 |
| 3 | 电力电子与自动化 | 了解电力电子技术、自动化控制原理和电化学储能系统的工作原理，能够进行系统设计和优化，提高系统的效率和稳定性。 |
| 4 | 仿真工程师 | 掌握仿真软件的使用，例如 COMSOL、STAR-CCM+等，能够进行电池材料、电芯、电池包等产品性能仿真和优化。 |
| 5 | 软件应用能力 | 熟悉工业软件，例如 PLC 编程软件、MES 软件等，能够进行设备控制、数据采集、生产管理等。 |
| 6 | 信息化技术 | 熟悉计算机硬件、软件、网络等信息技术，能够进行设备维护、故障排查、系统管理等。 |
| 7 | 人工智能与机器学习 | 掌握人工智能和机器学习算法，能够应用于电化学储能系统的故障诊断、预测性维护和智能调度等方面。 |
| 8 | 安全与风险管理 | 了解电化学储能系统的安全风险，能够进行风险评估、制定安全措施和应急预案，确保系统的安全运行。 |

| | | |
|----|-----------|---|
| 9 | 项目管理与业务分析 | 具备项目管理能力和业务分析能力，能够协调各方资源，推动数字化转型项目的顺利实施，并能够对业务进行深入分析，为决策提供支持。 |
| 10 | 化学工程 | 熟悉化学工程原理和工艺流程，能够进行化工生产过程设计和优化。 |
| 11 | 数字化建模 | 熟悉三维建模软件的使用，例如 SolidWorks、CATIA 等，能够进行设备建模、仿真等。 |
| 12 | 电化学储能技术知识 | 熟悉电化学储能原理、电池技术、电池管理系统等，能够进行电池系统运维和管理。 |
| 13 | 计算机语言使用 | 熟悉编程语言，例如 Python、SQL 等，能够进行数据分析、报表生成等。 |
| 14 | 供应链管理 | 具备供应链管理知识，能够进行供应商管理、库存管理、物流管理、采购管理等。 |
| 15 | 工业互联网技术 | 熟悉工业互联网技术，例如物联网、云计算、大数据等，能够进行供应链数字化转型。 |
| 16 | 3D 建模 | 用于设计和优化储能系统的物理结构，如电池模块、外壳等，确保系统的紧凑性和安全性 |
| 17 | 大数据分析 | 熟练掌握大数据分析技术和工具，能够进行数据挖掘、数据分析、数据可视化等 |
| 18 | 系统设计能力 | 设计储能系统的整体架构，包括电池管理系统（BMS）、热管理系统等，确保系统的稳定性和可靠性 |

| | | |
|----|----------|---|
| 19 | 系统集成与调试 | 将硬件、软件及接口无缝整合并进行全面测试、故障排除及优化, 确保系统稳定、高效运行 |
| 20 | 工业视觉算法能力 | 用于自动化生产线上的质量检测 and 监控, 提高生产效率和产品质量 |
| 21 | 装配工艺工程 | 设计和优化电池模块和储能系统的装配工艺, 提高生产效率和降低成本 |
| 22 | 结构建模能力 | 对储能系统的结构进行建模, 分析其不同工况下的应力和变形, 确保结构的安全性 |
| 23 | 自然语言处理 | 用于处理和分析来自用户、技术文档和设备的数据, 提高系统的智能化水平 |
| 24 | 分布式计算框架 | 用于处理和分析大规模数据, 提高数据处理和分析的效率 |
| 25 | 分布式数据存储 | 存储和管理大规模数据, 确保数据的安全性和可访问性 |
| 26 | 生产管理 | 掌握生产管理知识, 能够进行生产计划、生产调度、质量控制等 |
| 27 | 项目管理 | 管理储能项目的整体进度、预算和质量, 确保项目按时完成 |
| 28 | CAE 仿真分析 | 能够使用 CAE 仿真分析软件进行结构强度、热分析等仿真分析 |
| 29 | PLM 系统运维 | 管理和维护产品生命周期管理 (PLM) 系统, 确保产品数据的完整性和一致性 |
| 30 | 产品全周期管理 | 能够使用结构建模软件(如 ANSYS、COMSOL 等)进行结构建模 |

| | | |
|----|-------------|---|
| 31 | 失效分析能力 | 能够进行失效分析，找出产品失效的原因并提出改进措施 |
| 32 | 供应商 PPAP 管理 | 管理和评估供应商的生产件批准过程（PPAP），确保供应商提供的产品符合质量要求 |

表 12 - 行业数字化转型人才技能清单

附件 3

典型案例

案例一：江苏天合储能有限公司——打造全流程可追溯的智能工厂整体建设

A. 企业基本情况

天合储能是天合光能旗下的有“芯”的储能产品及解决方案提供商，专注于新型电力系统下的光储应用场景，业务涵盖储能电芯、储能电池舱、储能变流器、工商业储能、户用储能以及综合智慧能源管理系统等储能核心设备，产品解决方案应用于源网侧、工商业和户用三大应用场景。

公司始终坚持以科技创新为发展驱动力，不断推动储能度电成本下降、优化提升电化学储能产品系统安全性能、拓展储能应用场景。依托总部光伏科学与技术国家重点实验室，天合储能设立有先进储能电芯研究院、先进储能产品研究院、系统集成工程中心、电力电子研究院四大研发平台，拥有全球领先的目击实验室。并于今年 4 月和 10 月先后发布了行业首个《储能专用电芯白皮书》和《天合储能系统安全可靠白皮书》。

B. 实施智能化改造和数字化转型的主要做法

天合储能通过智能制造数字化系统平台产品建设，实现了储能生产过程中计划流程打通、物流环节高效、生产过程可控、全

流程信息追溯、系统稳步运行，成功构建了智能工厂整体架构。
具体实施方法如下：

（1）计划到生产的高效协同，构建智能工厂核心枢纽

通过 iPass 企业服务总线，实现了 PLM、WMS、ERP、SRM、QMS、MES 等系统的集成，确保从采购到生产各环节的数据交互与业务协同，打通了智能工厂信息流的核心枢纽，实现了生产计划与执行的紧密联动。

（2）统一的物联平台及工控管理，夯实智能工厂数据基础

利用领先的 MES 及 IOT 平台，确保设备间数据准确传递，质量精准管控，产品过程数据可追溯。创新双数据路径方案，实现产品生产执行过程数据、设备制程工艺及质量数据高效对接。针对电芯及 Pack 段约 50 余种设备进行了标准化的数据对接流程及协议的设计，实现百毫秒级实时数据采集，构建了统一的数据采集与监控平台，为智能工厂的设备管理和生产优化提供了坚实的数据基础。

（3）行业领先的制浆生产配方及工步管理，实现智能工厂工艺优化

在业务用户的充分参与下，基于 MES 系统，搭建生产配方及工步管理应用，实现自动化生产、在线管理配方与工步，确保

锂电池生产、工艺与质量的一致性，提升了智能工厂的工艺控制水平和产品一致性。

（4）在线生产过程质量制程管控，实现智能工厂质量管理闭环

基于产品工艺控制参数列表，系统在线采集了上百道加工工序的过程及产品结果参数逾 3000 项，基于工艺控制标准自动判定产品质量，结合人工质量控制计划与过程质量管控闭环，实现针对产品异常的不良放行、Marking、处置的数字化，保证产品生产过程中的质量稳定，构建了智能工厂的质量管理闭环体系，确保了产品质量的稳定可靠。

（5）高效的生产及物流集成、管控，优化智能工厂物流体系

通过集成引进的 AGV 智能物流装备，实现原材料按生产计划的波次及按需配送，有效管理库存时间，减少了产品不良率，实现了智能工厂内部物流的自动化和智能化，提升了物流效率并降低了运营成本。

（6）精准的产品追溯及高效的数据分析应用，赋能智能工厂决策支持

基于国家《电能存储系统用锂蓄电池和电池组安全要求》对

锂电池及集成系统的制程管控、追溯要求及强制性可召回能力的要求，基于锂电池电芯、Pack、集成系统的 24 位唯一追溯标识与物料及制程数据的执行追溯应用设计，可完整追溯锂电池电芯、Pack、集成系统的全制造周期物料及质量过程；应用数据中台及仓库技术，提供多维度数据分析报表，使用户具备自主数据分析能力，快速监控生产过程及设备数据，构建了智能工厂的数据分析与应用平台，为生产决策和管理优化提供了强有力的数据支撑。

此外，天合储能还持续推进电池电芯的生产过程优化，特别是在电芯制造方面，着重提升了电池生产的一致性和稳定性。公司采用了先进的自动化设备，全面覆盖电池的各个生产工序，如电极制备、卷绕、注液、化成、分容等。通过全自动化的生产线，实现了产线设备的高度协同与智能监控。此外，天合储能还将先进的人工智能与机器学习技术引入到电池生产过程中，借助数据挖掘优化生产参数，精准控制每一批电芯的质量，提升了生产效率的同时，也显著降低了不良率。通过全流程的数字化和智能化管理，电池的生产过程更加透明和可追溯，为后续的系统集成与储能应用提供了坚实的基础，进一步提升了智能工厂的整体运营效率和产品质量，实现了智能工厂的持续优化和升级。

C.实施前后的对比及成效

2022 年至 2023 年，天合储能通过实施智能制造系统平台

建设项目，快速搭建了制造数字化能力，相较于传统方案及方式，实现了生产效率提升 35%以上、节约人效 30%以上，使出货周期缩短约 1 天。同时基于智能制造能力建设，实现制造成本的高效计算，提升成本计算效率到天。

案例二：江苏双登富朗特新能源有限公司——通过自建工业互联网平台实现工艺、制造、检测、物流等环节的互联互通。

A.企业基本情况

江苏双登富朗特新能源有限公司是双登集团全资子公司，成立于2006年。公司专注于锂离子电池研发、生产和销售，是国内领先的新能源企业，属于“新能源”先进制造业集群和“新型储能”重点产业链，产品销往全球127个国家和地区。双登是中国移动、中国电信、中国联通、中国铁塔、华为技术、中兴通讯、爱立信、沃达丰、法国电信等世界知名客户战略合作伙伴，在全球前50强运营商中，双登已经进入45强，并与国家电网、上汽、中电投、中建材等客户形成广泛合作。

双登富朗特成功获评国家智能制造优秀场景、江苏省智能制造示范工厂、江苏省工业互联网标杆工厂、江苏省五星级上云企业，通过了国家两化融合管理体系贯标，承担了国家智能制造综合标准化与新模式应用项目、江苏省战略性新兴产业项目、江苏省重大科技成果转化项目等多个部省级项目。参与起草了国家标准和多个行业标准，产品获得省高新技术产品2个，省重点新产品1个，泰州市科技进步二等奖1项。

B.实施智能化改造和数字化转型的主要做法

双登富朗特“高性能储能用锂电池智能制造工厂”自建“双登智能制造工业互联网平台”，为保证各环节稳定运行，工厂

拥有完善的基础建设。首先，工厂通过工业以太网、标识解析等完善的通信网络构架，保证工艺、制造、检测、物流等环节间的互联互通，实现生产流程的信息追溯。其次，工厂依托双登智能制造工业互联网平台，以锂电行业生产工艺优化、质量、进度、物流、库存管理优化等为重点，实现数据的集成、分析和挖掘，拓展数据的汇聚与管理。最后，为保障安全稳定的生产环境，工厂部署了防火墙、入侵防御、入侵检测、漏洞扫描、终端安全保护系统、工控终端安全系统等安全技术措施，能够实现网络防护和应急响应。

工厂在对锂离子电池生产的全流程进行梳理的基础上，对研发设计、生产制造、质量管控、设备运维、物流仓储、安全环保等维度的数据进行标准化规范，合理配置工厂内的硬件设备、软件系统等资源，实现 PLM 系统、ERP 系统、WMS 系统、MES 系统的数据互通，形成了企业内部价值链的横向集成环境，实现数据和信息的流通、交换和智能决策。

通过运用智能化传感技术，引入智能化自动生产线、工业机器人、AGV 小车、智能立库等设备提升智能化水平，基于 OPENLINK 数采网关对生产数据实时监测及分析，部署 OPENCHART 平台实现可视化精益生产管理。升级 SPC 系统对电池生产过程进行在线质量分析，对 MES、ERP、WMS 等系统进行集成，实现全生命周期的质量追溯。部署 WMS 系统，

建立工艺并行式智能仓储与物流系统，实现物流环节、质量检测环节、设备运维环节的智能化。将智能光伏微电网系统与EMS能源管理系统进行深度集成，推动清洁能源在企业中的使用，并有效降低生产能源使用量，实现了能源的绿色化。

双登富朗特在智能制造转型过程中，重点聚焦于电芯关键主材的精细化制造与智能化控制，积极推动电化学储能产业链上游环节的升级与创新。在电极制备方面，公司引入高精度涂布与辊压一体化生产线，实现极片厚度的微米级控制与一致性保障；在电解液注液与真空封装环节，双登富朗特部署了高度自动化的配液与注液系统，确保关键工艺参数稳定可控，大幅提升成品电芯的一致性和安全性。通过引入智能感知与工业大数据分析系统，公司实现了对极片涂布均匀性、电解液注入量、电芯干燥过程等多个核心指标的在线监测与质量闭环控制。此外，公司建设了高洁净度的无尘车间与材料管控系统，实现了电芯主材从入厂检验到上线投料的全过程信息化管理，显著提高了原材料利用率和产品良率，为高性能储能电芯的大规模稳定制造提供了有力支撑。

C. 实施前后的对比及成效

通过大量智能化生产检测设备和信息化系统的实施，设备稼动率提升9%，单台设备的产量增加8%，工厂生产效率提升8.4%。项目通过采用先进的智能化设备、智能仓储、精准配送、

物料实时跟踪技术和 AI 技术，物料成本大幅降低，单位产品生产运营成本降低 16%。通过 PLM 系统的实施，建立了规范完整的产品数据管理体系，有效控制和管理技术数据的变更过程，帮助管理人员实时掌握项目研发状况，缩短了产品开发周期，研发周期缩短 37.5%。

案例三：上海电气国轩新能源科技（南通）有限公司—— 生产过程的透明化、智能化管控和质量预警

A.企业基本情况

上海电气国轩新能源科技（南通）有限公司成立于 2018 年 10 月 16 日，注册资本 3 亿元人民币，注册类型为有限责任公司。公司是由上海电气集团股份有限公司和国轩高科股份有限公司合资成立，公司致力于电化学储能业务的技术研发、工程应用和市场开拓，可实现从电芯到储能系统的全产业链覆盖。公司拥有卓越的电池技术、优化的系统集成技术等核心竞争优势，能够为新能源+储能、调峰调频、电网侧储能、工商业储能应用等提供一站式系统解决方案，致力于成为引领电化学储能行业的系统产品及综合解决方案供应商。

公司储能系统已进入全国 18 个省、市、自治区，并完成电源侧、电网侧、用户侧全场景应用布局，产品在高原、高热、高风沙、高盐雾等特殊环境下得以品质验证。同时，公司基于对市场的理解以及技术迭代升级，已将业务延展至备用电源和动力业务，并成功突破海外 5G 备用电源市场、港口岸电及轻卡换电等市场。经过多年发展，我公司年营业收入已突破 14 亿元，并稳步增加。2023 年获得国家工信部 AA 级两化融合管理体系认证。2023 年度获得中兴通讯“全球最佳合作伙伴奖”

“2023 年度储能十大品牌奖项”和“中国储能产业技术创新奖”等。

B.实施智能化改造和数字化转型的主要做法

上海电气国轩在生产过程中应用数字化、自动化的生产和自动检测设备，以扩充产能、提高生产效率。公司通过建立以 SAP 为核心，串联 CRM 系统、MES 系统、EMS 系统、WMS 系统的综合集成应用，打通业务端、供应链和生产端数据链路，形成了一个统一且高效的数据管理平台。

生产维度，通过 SAP 和 MES 系统的集成完成销售订单至生产工单的转化，同时通过 MES 系统与设备的连通，对物料流转数据、设备状态、工艺参数、质检数据、环境数据进行实时采集，公司能够精确监控生产工单的执行进度，实现了智能防错、先期质量预警，并根据实际情况拉动物料配送与资源的动态调整，实现生产进度智能管控。为了确保生产过程的透明化和可追溯性，公司对物料、在制品以及成品均进行了赋码管理。通过条码信息绑定同步至 SAP、MES，借助条码可追溯产品关联的工序、人员、质量、物料、数量等关键信息。

产品维度，在生产过程中，通过自动化检测设备对关键工序环节进行实时监测和数据分析，确保了产品质量的稳定性和一致性。同时结合 MES 系统积累的生产数据，公司能够对产品质量进行趋势分析和预警。通过这一机制，公司能够及时发

现并解决潜在的质量问题，从而进一步提升了产品的可靠性和用户满意度。

C.实施前后的对比及成效

建成之后产品指标具有明显提升，在原材料、半成品、产成品库存管理方面，资源分配更合理，生产组织更高效。从人工成本来看，减少人工投入约 40 人，年度节省人工约 600 万元；仓储系统智能化应用，使得库存周转率提升约 5%，资源综合利用率提升 4.5%，产品不良率提升 1%，设备综合效率提升逾 20%，结合 SAP 系统与 MES 系统集成，优化排产，促进订单准时交付率提升约 15%，从原料到订单交付，关键环节效率都有了显著提升，据不完全统计，仅年度节约成本已达到 900 万元；而该车间已实现由生产效率的提升拉动整体产能的提升，整体经济效益将在以往基础上按照百分比跃升。

案例四：中天储能科技有限公司——生产全流程数字化与产品全生命周期优化

A. 企业基本情况

中天储能成立于2012年，注册资金16.34亿元，提供以锂电池及其系统集成为核心的系统化产品、解决方案及运营服务，专注于新型电力储能全场景系统应用的研发、制造、销售和服

务。2016年中天储能获得江苏省首批优秀示范智能车间认定，并成为锂电池行业首家获得“工信部智能制造试点示范企业”认定的企业。同年，中天储能入围工信部《汽车动力蓄电池行业规范条件》第四批公告目录；2017年入围工信部《锂离子电池行业规范条件》第二批公告目录；2018年其“锂离子电池智能制造车间”再次入围江苏省示范智能车间。2019年其“高比能量锂电池制造车间”第三次被评为江苏省示范智能车间。2024年，锂电池储能系统获得制造业单项冠军。另外公司还获得第四批专精特新“小巨人”企业、江苏省科学技术奖一等奖、绿色设计产品、国家高新技术企业、国家知识产权优势企业等荣誉。

B. 实施智能化改造和数字化转型的主要做法

生产维度

(1) ERP 系统整合

通过构建包含销售、采购、仓库、质量等四大核心模块及多项辅助功能的 ERP 系统，实现了企业资源的全面整合与优化。该系统与 MES、WMS、SRM 等系统无缝对接，确保了基础数据、库存数据、原材料领用数据及完成入库数据的实时同步。同时，通过 OA 系统对接原材料申购流程，实现了流程的自动化与高效化。

（2）生产过程智能管控

公司建设 MES 系统作为计划层与作业层之间的信息纽带，实现了对原材料上线到成品入库的整个生产过程的实时数据采集、控制与监控，并通过与 ERP、WMS 等系统集成实现人力、设备、物料等制造资源的动态配置与优化。

（3）产品工艺全生命周期管理

公司应用 PLM 系统来实现工艺知识的生命周期管理，对各种工艺文档都进行集中管理，所有变更的进行都做到有章可依、有据可查。

（4）设备管理

公司建设 EAM 设备云平台，该系统涵盖了生产设备、辅助设备等各类设备的台账管理、文档管理、维修保养等功能，实现了设备管理信息化、成本消耗可溯化的目标。

（5）在线自动检测控制系统

为了提升制程质量管控能力，公司配置了大量的在线自动

检测设备，如涂布面密度检测仪、极片外观瑕疵检测仪、涂布尺寸 CCD 检测仪、辊压激光测厚仪、模切极耳尺寸 CCD 检测仪、卷绕 CCD 检测仪、卷芯 X-ray 检测仪、入壳压力检测预警系统、顶盖焊接氮质谱检漏仪、密封焊接氮质谱检漏仪等，将大量的全检仪器设备集成到电池生产线中，实现了重点工序、关键指标的 100%检测。

（6）能源综合管理监测系统（EMS）

基于智能电表等设备基础，建立了一套电能管理平台，实现了对所有用电设备电能使用情况的实时监控与优化。通过遥测合理调配负荷、采用模糊控制原理等措施，最大限度地减少了能源浪费，达到了节能降耗的目的。

（7）WMS 仓储管理系统

通过建立完善的 WMS 系统与配套附属设备(如 AGV、RAV、立体仓库)，实现了原材料与电池成品出入库的自动化管理。

产品维度

1、单体电芯的设计仿真

通过仿真软件对电芯进行设计仿真，避免重复试验，缩短前期产品设计、开发及验证周期。

2、工序可视化仿真

针对现有工业化项目研发流程，依托辅助设计、仿真分析、虚拟试验、虚拟制造及相应的数据与流程管理等信息化手段，

促进产品生命周期最前端的智能化设计，并利用仿真与试验数据的对比，促进产品的设计优化，并实现设计数据的有效传递，降低设计成本，实现研发效率的最优化。

C.实施前后的对比及成效

中天储能通过自动化及数字化的建设，实现生产效率提升 25%、运营成本降低 25%、产品升级周期缩短 40%，产品不良品降低 22%，单位产值能耗降低 12%。

案例五：江苏林洋储能技术有限公司——多系统整合与智能化管控

A. 企业基本情况

江苏林洋储能技术有限公司为江苏林洋能源股份有限公司控股子公司，专注于电网侧独立储能、新能源发电配套储能、工商业用户侧储能以及微电网等应用场景，不断创新于

“BMS+PCS+EMS”的“3S”融合储能系统研发，打造数据驱动的储能全生命周期运营管理平台，为全球合作伙伴提供“高安全、长寿命、高效率、低衰减、智能化、高收益”的智慧储能产品及系统解决方案。入选彭博新能源财经(BloombergNEF)发布 2024 年第四季度全球一级储能厂商榜单 Tier1 名单。

在南通启东、安徽蚌埠、河北平泉建有超 7.7 万平方米的生产基地，累计实现年产 8GWh 储能 Pack 及直流侧系统，海外沙特吉达工厂占地面积 1.3 万平方米，预计 2025 年 3 月底建成投产。林洋储能拥有储能系统中电池模块级、电池簇级、电池系统级、整站级的设计和智能制造技术。

B. 实施智能化改造和数字化转型的主要做法

林洋储能以“全面提升生产效率、产品质量和运营管理”为持续核心目标，致力于打造锂电池储能系统智能制造工厂。通过建设 PLM、ERP、APS、CRM、MES、WMS 等系统，形成以销售订单为核心的全流程管理体系，覆盖销售、设计、采

购、生产、库存、财务和物流等环节，打通信息流；实时监控
生产计划、人员、设备、产线、调试和测试数据，构建了林洋
储能的工业互联网平台。

多个系统的整合使得生产计划、物料管理、设备监控、工
艺优化和质量管控等功能得以顺利实现，系统可自动生成生产
计划、调度和任务分配，并实时监控生产过程中的每个环节，
自动识别异常数据并发出预警，大幅提升质量管控的智能化水
平。

通过定制化的储能 **Pack** 及系统制造 **iMES** 系统，工厂实现
了电芯到系统的全流程实时数据追溯和质量管控，包括电芯分
选、电池模块组装和焊接工艺检测等、电芯的内阻、容量、电
压等参数以及焊接过程中的热影响、焊点质量等数据，实时上
传并进行大数据分析，实现生产过程的精准控制与优化。

为进一步提升生产效率和产品一致性，工厂采用六轴工业
机器人、**IPG** 激光器等智能设备，显著提高了生产线效率和精
度；同时集装箱采用 **50**吨背负式 **AGV** 转运，结合西门子 **PLC**
主控和色带+二维码系统自动导航，实现原地旋转和掉头；自
动入柜 **AGV** 具备 **PACK** 自动接料、转运和入柜功能，设备具
备全向移动能力，并可自动充电。

C.实施前后的对比及成效

生产效率提升 9.51%: 智能化设备优化生产流程, 实现各环节的自动化和精细化管理, 从生产计划的制定、物料调配到生产过程的监控, 都实现自动化和智能化, 有效减少生产周期和停机时间, 从而提高整体生产效率。

制造成本降低 6.12%: 通过引入智能设备和自动化系统, 生产线的资源利用率、生产精度和成品率得到大幅提升; 同时减少因人为因素导致的质量问题, 从而有效降低不必要的生产成本。

交付率提高 10.39%: 通过对生产过程的实时监控和数据分析, 生产计划的准确性得到显著提升, 生产过程中的潜在问题能够在早期被及时发现和解决, 从而避免生产延迟和交付滞后。

案例六：苏州德博新能源有限公司——关键设备全面联网与数据驱动决策

A. 企业基本情况

苏州德博新能源有限公司，成立于 2014 年，专注于新能源汽车动力电池系统和储能电池系统集成及其核心部件的研发、生产和销售，致力于为客户提供完整的能源产品解决方案。产品包括电池管理系统 BMS，动力电池系统，储能电池系统以及高压箱 PDU 等。

苏州工厂 5000 平米，集研发与、测试认证和生产，拥有 2 条模组线&1 条 PACK 线，以家储及工商业产品为主，产能为 10Mwh/天，2Gwh/年。

2024 年 7 月成立安徽德博技术有限公司，15000 平米，以工商业、集装箱储能为主，拥有 5 条模组&3 条 Pack 线，产能 25Mwh/天，8Gwh/年。

B. 实施智能化改造和数字化转型的主要做法

公司在实施智能化改造和数字化转型的主要做法包括：智能设备、过程控制与状态监测和数字化全生命周期管理等方面。

智能设备方面，设备产线做了升级改造，包括在自感知和自调节功能方面，引入极柱清洗和寻址、激光自动应址焊接等联动设备系统，配备国内最先进的圆柱形锂离子电池生产线，应用模块化技术部署智能制造装备，搭建柔性可重构产线。关

键生产设备 100%联网。在能源管理环节，公司主要能耗为电能，公司通过在生产设备加装智能电表采集设备电能消耗情况，并通过公司自主研发的能量管理系统，对能耗数据进行趋势分析、异常能耗预警，实现工厂的智能化能量调度。在生产运维方面，公司引入了全生命周期物料管理系统，该系统实现了从采购、库存、投产、出货到运维、售后等各个环节数据的全面整合与管理。通过该系统，公司能够实时追踪物料的状态，确保信息的准确性和时效性，从而优化生产流程，提高运维效率，并为客户提供更加优质的售后服务。

C.实施前后的对比及成效

通过实施智能化改造和数字化转型，公司在生产制造上不仅大大提高了生产效率，也切实解决了很多生产管理死角。同时赋能了物料和产品的全生命周期管理。在能源管理方面，优化了企业的能源使用效率，并推动了自主储能系统的应用与集成。通过对工厂负荷预测以及储能调度，实现储能系统与生产系统的高效联动，为企业降低了运营成本。

案例七：阿特斯储能科技有限公司——高度自动化与智能化的电池 PACK 组装车间

A. 企业基本情况

阿特斯成立于 2001 年，2006 年在美国纳斯达克上市。在过去的二十多年里，阿特斯已经成为太阳能和储能解决方案的全球领导者。还在全球范围内开发大型太阳能光伏电站和储能电站项目。阿特斯集团拥有两大核心业务板块：太阳能组件和成套光伏系统解决方案业务，以及全球能源业务。阿特斯提供包括光伏和储能系统集成业务，为公共事业、工商业和家庭用户提供可融资的、端到端的一站式交钥匙储能系统解决方案，并可提供电池容量升级服务。

在全球范围内建立了广泛的市场布局，尤其在北美、欧洲、亚洲和南美地区具有显著影响力。公司致力于开发、融资、建设及并网大型太阳能光伏电站和储能电站项目。业务遍及 20 多个国家，拥有超过 20000 名员工。截至 2024 年第三季度，阿特斯实现收入 15.1 亿美元，毛利率为 16.4%。预计到 2024 年底，储能在手订单金额将达到 32 亿美元（约合人民币 230.08 亿元）。

B. 实施智能化改造和数字化转型的主要做法

阿特斯电池 PACK 智能组装车间采用全球顶尖设备，集成了激光焊接、机器人、AGV 运输车、视觉系统和测距系统等自

动化及智能化工具。结合 **SAP** 和 **MES** 信息化系统，实现了全流程监控、数据追溯、制程能力分析与提前报警，大幅降低了人力成本并提升了产品质量。

1.电芯上料与模组组装

操作工人使用电移车将电芯上料后，全部由机器人完成抓取和包材回收，确保上料过程的稳定性。每个模组在组装前都经过 100%全检，以保证不良品零上线。每个模组都有唯一身份码，便于后续产品溯源。**PACK** 线体直接与模组线体对接，实现模组自动放置于 **PACK** 箱体内。所有拧紧工序的数据（扭矩、转角、数量）均上传至 **MES** 系统进行管控。物料运输通过 **AGV** 和机器人完成上下料和搬运。

2.生产计划优化

MES 系统接收来自 **SAP** 的销售订单信息，生成生产计划。依托设备数采系统和制造执行系统（**MES**），全面监控“人、机、料、法、环、测”等生产要素。将影响主生产计划编制的约束条件固化到 **SAP** 系统，形成能力平衡工具。编制生产计划时，通过能力负荷平衡使资源利用均衡，充分考虑采购、设备、质量因素对生产均衡性的影响，提高计划的均衡性。依托 **MES** 系统加强对计划执行的监控，支持对计划异常的动态调整。实施 **ERP** 系统、**MRP** 视图设置和约束机制，达到生产计划的优化，实现基于采购提前期、安全库存和市场需求的动态管理。

3.车间智能排产

根据 MES 系统中的瓶颈工序产能、良率、工艺链路关系等因素，综合考虑生产能力、设备状态、物料齐套等因素，形成基于可用产能、工序能力、订单需求日期、班次、瓶颈工序等最优算法的详细生产作业计划。每日滚动排产，结合当期生产执行状况不断优化调整，最终实现更全面、高效的车间控制。系统合理分配有限的设备和生产资源，制定详细的排产计划，生成可视化工具，便于管理人员直观了解生产进度与任务分配。智能排产系统与自动化生产线协同工作，自动调整生产线参数和设备配置，确保电芯上料、支架粘贴、电焊、检测等工序顺利进行。系统实时采集和分析生产数据，及时处理异常。MES 排产结果同步至 ERP 系统，实时更新车间生产计划，提高生产过程的灵活性和响应速度。

4.设备管理功能

引入设备管理功能，实现对设备在其生命周期各个阶段的系统管控，包括定期点检、保养、维修，实时监控设备状态，对生产过程中设备发生的问题实时预警，推送至相关责任人，实现设备事件管理闭环。通过上述措施，最终实现产能节拍的提升，赋能生产。

C.实施前后的对比及成效

通过智能车间的整体建设，阿特斯电池 PACK 智能组装车

间实现了设备和备品备件的系统化管控，建立了完善的条码追溯体系，实现了物料正向和反向的一体化追溯，确保全制程信息可追溯。从订单接收、各线体的生产排程、设备报工到 ERP 过账，实现了业务流与数据流的闭环管理，确保订单闭环管理。建立设备全生命周期管理体系和智能监控体系，维护设备持续稳定运行，实现智能设备管理。在工艺方面，实现了工艺配方的下发、切换、监控与分析；在质量追溯方面，建立了完整的质量管理体系，从原材料、生产到成品，把控产品生命周期内的每一个质量控制点。

通过引入 MES 系统，实现了电池 PACK 智能组装车间的资源动态配置。MES 系统首先接收来自上层计划系统（SAP）的生产计划，这些计划基于销售订单、库存需求预测或长期生产计划，明确了产品类型、数量及交货日期。接下来，MES 系统的派工模块分析生产计划，结合车间实时数据（如设备状态、人员可用性、物料齐套情况等），进行智能派工决策，确保生产资源的合理利用。MES 系统生成的派工指令通过车间信息系统下达给生产人员或设备，详细说明生产任务的要求，并持续监控生产进度、设备状态及质量检测结果。系统能够及时发现并处理生产中的异常情况，如生产瓶颈或质量问题，调整派工策略并重新分配资源，确保生产顺利进行。此外，MES 系统支持灵活的生产调度，根据实际情况调整派工指令，提高生产效

率和响应速度。资源动态配置避免了资源的闲置和浪费，设备综合效率提升了 1.5%，人员工作效率提升了 4%。一样数量的产品交付期从之前的 9 天平均减少到 7.5 天。

案例八：沃太能源股份有限公司——自研低碳智慧园区平台

A.企业基本情况

沃太能源股份有限公司自 2012 年成立以来专注于储能产品的研发、生产和销售，公司已形成围绕储能系统为核心的 BMS、EMS、系统集成和云管理平台 4 大技术体系，承建了多个国家、省、市科技计划项目。

公司近三年在澳洲、德国等地市场稳居行业前三。2019 年公司入围 Cleantech 组织“2019APAC25 强”。2021 年 IHSMarkit 公布的“2020 年全球户用储能系统供应商”入围前五强。2022 年荣列“海外市场储能系统出货量榜单第三”，同时登顶澳大利亚储能市场占有率排名第一。根据 2024 年 EESA 储能领跑者联盟公布的最新榜单，公司位列中国企业全功率段储能系统解决方案出货量 TOP2、中国企业户用自主品牌储能系统解决方案提供商出货量 TOP3、全球用户侧储能系统解决方案提供商出货量 TOP10。

B.实施智能化改造和数字化转型的主要做法

公司近三年在信息化软、硬件购买和研发上累计投入近 3000 万元，是江苏省企业上云五星级企业、江苏省两化融合贯标示范企业。2021 年至今先后上线 SAP 系统、ERP 系统、PLM 系统、MES 系统、OA 系统、CRM 系统、WMS 系统、SRM 系

统、飞书系统，并对全部系统进行了集成，将业务层面、执行层面、数据信息层面进行全面整合，形成了打通式、一体化管理，全面提升了公司数据应用、业务协同、客户服务、精益制造执行、决策支持五大方面能力。目前公司已经形成了以 SAP 系统为核心的经营生产管理平台，以及以公司自有 AlphaCloud 云平台为核心的产品远程监测与用户服务平台，获评“2023 年度 SAP 全球用户标杆企业”。

2022 年公司在南通高新区拿地 100 亩，按照 5G 智慧工厂的标准建设沃太全球总部，充分应用智能化系统、绿色节能管理和办公服务平台，打造国内一流的绿色智慧园区、数字工厂。一期 60 亩，已于 2023 年 8 月建成投产，年产能可达 20 万套。2023 年沃太能源还成功自研低碳智慧园区平台并在沃太全球总部应用，这是集能源、楼宇自控、消防安防管理于一体的数智化平台，主要应用于产业园区/工业园区和工厂。平台与光储充、可调负荷相结合构成的园区级虚拟电厂，对外可实现与电网的友好互动，对内可以实现“源网荷储”协同优化，实现让能源数智化、管理可视化。目前，沃太能源已在省内率先开创了聚合型分布式储能模式。

C. 实施前后的对比及成效

(1) 经济效益显著提升

通过“智改数转”的实施，公司人工管理模式由低效率的

人工行为，转变为云平台统一抄报、分析和管理的；通过云计算、大数据技术高效快速地实现数据的获取和建模分析，辅助计划决策管理，缩短各环节决策周期 30%，实现销售收入增长 100%，生产成本减低 20%，企业利税增长 50%。

（2）社会效益日益凸显

通过信息技术的应用，以及自动化生产线的普遍使用，有效地节约能源，在产能增加近 100%的同时，固体废物减少 10%，用电减少 10%。在提高劳动生产效率、降低单位产值能耗、缩短产品研发周期等方面取得了良好效果。

案例九：远景动力技术（江苏）有限公司——以业务流程驱动为核心的系统集成与生产管理

A. 企业基本情况

远景动力（AESC）是一家全球领先的智能电池科技公司，致力专注于动力与储能电池系统的研发、设计、制造及销售。公司自 2007 年成立以来，公司已在全球范围内建立了 13 个生产基地和多个研发与工程中心，遍布中国、日本、美国、英国、法国及西班牙。凭借其创新技术和全球化布局，远景动力赢得了全球顶级汽车制造商和储能集成商的高度认可，为超过 60 个国家的 100 多万辆汽车提供了动力电池产品，并将储能电池产品出口到包括中国、美国、英国、澳大利亚和新加坡在内的 20 多个国家。迄今为止，公司未发生过任何重大安全事故。江苏江阴的电池超级工厂于 2021 年投产，这是远景动力在中国的首个生产基地，规划产能为 20GWh，涵盖了从电极到电芯、模组再到电池包等核心电池产业链技术，现已全面投入运营。该工厂生产的最新一代电池产品远销全球市场。

B. 智能化改造与数字化转型实践

远景动力以业务流程驱动为核心，围绕“快、稳、准”三大数字化建设目标，在装备升级、网络优化和平台构建方面打下坚实基础。工厂广泛采用行业领先的高精度智能化设备，并通过自动物流线实现连续生产流程。基于现场总线+工业以太

网架构，利用 MAAS 系统和上位机进行数据采集，监控生产设备状态并收集各类工艺参数；部署多种传感器和计量装置以监测能源消耗、安全状况及环境指标，并通过 EnOS 系统进行统一管理。同时搭建了技术中台和数据中台，提供实时或离线的数据解决方案来满足不同业务系统的需求；强大的数据存储与处理能力支持深入数据分析与挖掘工作。

在生产层面，通过 Webservice/ESB 企业服务总线实现了 PLM/SAP/SRM/MES/WMS/QMS 等多个系统的无缝集成，确保采购入库、工艺下达、订单执行以及物料领取等跨部门活动的信息流畅通无阻。关键工位配备了在线质量检测设备，结合 SPC 实时监控系统，能够及时发现产品质量问题并发出警报。e-SOP 系统指导员工完成标准化操作，而 AGV 小车则负责按需配送原材料。条码技术被广泛应用于原料追踪及半成品管理中，每个成品电芯都有唯一标识码可用于追溯整个生产过程。BI 工具帮助建立多维度分析模型，对生产效率、设备效能及良品率等关键指标进行监控，并通过企业微信推送异常信息至相关人员手机端。基于数据中台收集的数据，运用大数据方法对影响产品质量的因素进行分析建模，从而不断改进生产工艺。

对于产品设计而言，将专业知识转化为 K-KBSE 模块内嵌于 CATIA 软件中，促进了三维参数化设计的发展；使用 ABAQUS 和 StarCCM+ 软件进行结构与工艺仿真；EDA 软

件则用于生产线优化。PLM 平台促进了跨学科团队之间的协作与资源共享。

C. 项目实施前后对比及成果展示

通过实施本项目，远景动力显著提高了生产效率（提升了约 40%），减少了车间劳动力需求（减少了约 25%），降低了单位成本（下降了约 10%），并且大幅度减少了碳排放量（减少约 40%）。在产品开发周期方面，借助先进的模拟仿真系统，新规格电池的研发时间缩短至 800 天以内，比之前快了近一半的时间，极大地加快了市场反应速度。此外，产品质量也得到了明显改善——不良品率降低约 60%，设备综合效率提高了约 10%。这不仅保证了产品的高性能标准，也增强了客户对远景动力品牌的信任度。

案例十：江苏中兴派能电池有限公司——基于大数据的创新决策支持以及提升产品远程运维能力

A.企业基本情况

江苏中兴派能电池有限公司，成立于2012年，是科创板上市公司派能科技的全资子公司，是一家拥有自主知识产权与核心技术的磷酸铁锂电池系统与解决方案供应商，属江苏“1650”现代化产业体系“新能源”集群中的“新型储能”产业链。公司注重工业化与信息化建设，已建立以PLM、ERP、MES、WMS、EMS、BI、储能大数据平台等一体化的综合管理平台，引进行业内最先进的全自动注液生产线，自动盖帽焊接生产线，智能立体仓库、AGV智能转运系统，并松自动化物流、端子锁附机器人、包装流水线等先进智能化产线和检测装备，通过设备联网、人工智能、PLC控制与数据采集、视觉识别、大数据应用分析等技术提升公司智能制造能力。

公司专业从事锂离子电池及系统的研发、制造、销售，年产8GWh电芯及7GWh电池系统。公司可以提供5V~1500V全系列电压等级全场景储能系统及定制化解决方案，覆盖新能源发电、电网辅助服务、微电网、工商业园区、充电桩、数据中心、通信基站等各种场景储能应用。

B.实施智能化改造和数字化转型的主要做法

围绕新型储能电池智能制造工厂建设规划，采用工厂总体设计、工艺流程及布局数字化建模，通过对关键智能制造技术装备、工业软件系统、工业互联网、云平台、大数据、AI 等技术应用，打造智能制造示范工厂，实现传统制造模式向智能制造模式的转变和数字化转型。

a.建设内容

①建设 PLM、ERP、MES、WMS、EMS、B1、储能大数据平台等，并实现各系统的数据打通和应用集成，建立一体化的综合管理平台。

②对核心装备和生产线进行智能化升级改造，完成对 2000 余台套智能化设备设施的引进与智能化提升，如全自动注液生产线，自动盖帽焊接生产线，叠片物流线，AGV 智能转运系统，瑞能电池组测试系统，热压化成生产线、OCV 测试线、并松自动化物流、端子锁附机器人、US5000 模块组装焊接线、自动包装线等先进智能化产线和检测装备。

③依托工业互联网平台，通过生产现场信息感知与互联集成的网络协议和网络架构应用，云平台、大数据、AI 等技术应用，实现业务数据，生产数据的实时采集、传输、集成应用模式。

b.建设特点

①打造了全流程智能制造新模式。通过物联网、数据集成

手段，实现 ERP、MES、PLM、WMS、BI 等系统的横向集成，实现研发设计、销售、采购、生产、财务、仓储一体化的业务协同。通过 MES 集成 WMS、SPC、EMS、LMS 自动化物流控制系统等，以及与自动化生产线、智能制造核心技术装备进行纵向集成，实现计划调度、生产作业、设备、质量、仓储配送、能源、环保、安全管控、设备互联互通的生产全流程管理。

②基于大数据全面应用的创新决策。基于销售、产品设计、工艺、计划、质量、设备、仓储物流、能源等数据，开展大数据应用与建模，开发各类分析报表和运营看板，有效支撑公司各类决策。

③提升产品远程运维能力。建立储能大数据智慧运营管理平台，集成智能传感、大数据、互联网等技术，基于储能产品运行数据开展充放电监控、寿命监控、收益监控、远程运维以及基于大数据开展远程升级和维护。

C.实施前后的对比及成效

通过新型储能电池智能制造工厂建设，全员劳动生产率提高 10%，产值成本率降低 4.59%，产品不良率降低 1.5%，产品研发周期变短 25%，人均销售额增长 60%，质量损失率降低 2%，单位综合能耗降低 38%，客户订单准时交付率 100%，设备综合效率提高至 85%，关键设备数控化率 100%，关键设备联网率 100%。

附件 4

技术缩略语

| 序号 | 缩略语 | 全称 | 释义 |
|----|-----|------------------------------|----------|
| 1 | ERP | EnterpriseResourcePlanning | 企业资源计划系统 |
| 2 | MES | ManufacturingExecutionSystem | 制造执行系统 |
| 3 | WMS | WarehouseManagementSystem | 仓库管理系统 |
| 4 | DCS | DistributedControlSystem | 分散控制系统 |
| 5 | PLC | ProgrammableLogicController | 可编程逻辑控制器 |
| 6 | APC | AdvancedProcessControl | 先进过程控制系统 |
| 7 | FCS | FieldbusControlSystem | 现场总线控制系统 |
| 8 | EMS | EnergyManagementSystem | 能量管理系统 |
| 9 | BMS | BatteryManagementSystem | 电池管理系统 |
| 10 | PCS | PowerConversionSystem | 储能变流器 |
| 11 | SIS | SafetyInstrumentedSystem | 安全仪表系统 |
| 12 | AAS | advancealarmmanagementsystem | 先进警报管理系统 |

| | | | |
|----|------|---|---------------|
| 13 | SoC | StateofCharge | 电池电荷状态 |
| 14 | SoH | Stateofhealth | 电池健康状态 |
| 15 | TSN | Time-SensitiveNetworking | 时间敏感网络 |
| 16 | CAE | ComputerAidedEngineering | 计算机辅助工程 |
| 17 | CRM | CustomerRelationshipManageme nt | 客户关系管理 |
| 18 | AI | ArtificialIntelligence | 人工智能 |
| 19 | PON | PassiveOpticalNetwork | 无源光网络 |
| 20 | IDS | InstructionDetectionSystem | 入侵检测系统 |
| 21 | SIEM | SecurityInformationandEventMan agement | 安全信息和事件 管理 |
| 22 | ACS | AccessControlService | 访问控制服务 |
| 23 | MFA | MultiFactorAuthentication | 多因子认证 |
| 24 | VPN | VirtualPrivateNetwork | 虚拟专用网络 |
| 25 | IPS | IntrusionPreventionSystem | 入侵防御系统 |
| 26 | OEM | OriginalEquipmentManufacturer | 委托制造 |
| 27 | MRP | MaterialRequirementPlanning | 物资需求计划 |
| 28 | SAP | SystemApplicationsandProducts | 系统应用与产品 |
| 29 | PLM | ProductLifecycleManagement | 产品生命周期管 理 |
| 30 | LWM | LaserWeldingMonitor | 激光焊接模块 |

| | | | |
|----|-------|---|-------------|
| 31 | WDD | WeldDefectDetection | 焊接缺陷检测 |
| 32 | AGV | AutomatedGuidedVehicle | 自动引导运输车 |
| 33 | AS/RS | AutomatedStorageandRetrievalSystem | 自动化立体仓库 |
| 34 | SCADA | SupervisoryControlandDataAcquisition | 数据采集与监控系统 |
| 35 | OEE | OverallEquipmentEffectiveness | 设备综合效率 |
| 36 | CCD | Charge-CoupledDevice | 电荷耦合器件 |
| 37 | QMS | QualityManagementSystem | 质量管理体系 |
| 38 | LIMS | LaboratoryInformationManagementSystem | 实验室信息管理系统 |
| 39 | MAOC | Monitoring,Analysis,Optimization,andControl | 检测、分析、优化和控制 |
| 40 | ETL | Extract,Transform,Load | 数据提取、转换、加载 |
| 41 | CAD | Computer-AidedDesign | 计算机辅助设计 |
| 42 | DOE | DesignofExperiments | 实验设计 |
| 43 | BOM | BillofMaterials | 物料清单 |
| 44 | LES | Logistics Execution System | 物流执行系统 |

表 8 - 技术缩略语

附件 5

服务商目录

| 序号 | 名称 | 所在地 | 主营业务及优势 | 联系方式 |
|----|-----------------|-----|--|--------------------|
| 1 | 联通（江苏）产业互联网有限公司 | 南京市 | 联通（江苏）产业互联网有限公司是中国联通旗下的直属专业公司，聚焦“大联接、大计算、大数据、大应用、大安全”五大主责主业，立足江苏，坚持创新引领为企业数字化转型发展战略提供强有力的技术支撑。依托中国联通在装备、矿山、钢铁、汽车、服装、轻工、仓储等重点领域工业行业军团力量，形成了 5G 专网、云计算、工业互联网平台、数智能力及行业应用的完整能力体系，累计打造 48 款工业自研应用。联通（江苏）产业互联网有限公司深耕智改数转网联行动，赋予行业企业产品创新基础建设，自有工业互联网人员团队 268 人，2024 年诊断企业数累计 4286 家，服务区县 61 个，已打造华兴源创、扬子石化、友达光电等多个 5G 智能工厂标杆案例，助力制造业智能化改造、 | 马松松 15651601635 |

| | | | | |
|---|--|-------------|---|-------------------------------------|
| | | | 数字化转型、网络化联接深化发展。 | |
| 2 | 江苏 东洲 物联 科技 有限 公司 | 南 京 市 | 江苏东洲物联科技有限公司（简称东洲物联），是一家致力于物联网、智慧城市及软件服务领域的新型技术公司，主营产品包括工业数据采集服务及工厂可视化，工业互联网平台，工控网络安全等。服务范围涵盖物联网、智慧城市及软件服务产品的研究、开发、生产、销售及服务等。 | 姜锋（总经理） 18602118700 |
| 3 | 南京 埃斯 顿自 动化 股份 有限 公司 | 南 京 市 | 埃斯顿的机器人核心部件自主化率达到较高水平，主营产品包括工业及机器人及智能制造系统工程、自动化核心部件及运动控制系统。拥有全系列覆盖 3—700kg 负载，87 款工业机器人产品。在汽车、光伏、锂电池、金属加工、电子制造、建材家居、物流包装、食品烟酒、轨道交通、工程机械、特种车辆、船舶海工、航空航天等细分行业携手行业领军品牌打造智能制造标杆产线及工厂。 | 任志金（项目 申报工程师） 13912991293 |

| | | | | |
|---|----------------|-----|--|-------------------------------------|
| 4 | 南京国睿信维软件有限公司 | 南京市 | <p>南京国睿信维软件有限公司主营产品包括睿知 REACH 自主工业软件（包括：PLM、MOM、MRO 等）。公司专注于“产品全寿期信息化整体解决方案”的软件研发、咨询服务和系统集成。公司形成以“精益设计”“精益制造”“精益保障”和“精益管理”为核心的产品全寿期信息化整体解决方案以及先进的运维管理服务，目前服务的行业包括航空、航天、船舶、兵器、国防电子、汽车、轨道交通、工程机械、能源、高科技电子、重型装备等行业。</p> | <p>李先芹（综合管理部经理） 13851621602</p> |
| 5 | 南京中新赛克科技有限责任公司 | 南京市 | <p>中新赛克主营产品包括大数据运营产品、工业互联网安全产品、安全咨询、风险评估等。公司业务覆盖网络可视化、数据与网络安全、大数据分析与应用等多个领域并拥有一系列具有自主知识产权的核心技术，自主研发的一系列安全产品服务了上百家企业的数据安全、企业数字化管理以及工业互联网安全建设。</p> | <p>顾欢欢（总经办主任） 13675191576</p> |

| | | | | |
|---|----------------|-----|---|----------------------------------|
| 6 | 中润华谷（南京）科技有限公司 | 南京市 | <p>中润华谷（南京）科技有限公司主营产品包括 CPM 软件销售（iAPM）、基于 CPM 的解决方案和咨询、培训等。公司以自主研发的 iAPM 智能化自主运行工业软件平台为支撑，包括了可以独立运行的全流程控制和优化（iAPM.CP）、先进报警管理与优化（iAPM.AM）、综合能源监控和管理（iAPM.EM）、批量控制和计划调度（iAPM.BM）、数据采集和整合（iAPM.DH）五个系统模块，为流程企业提供全流程全工况自动控制 and 优化、节能低碳和智能设备的工业软件平台、配套的硬件设备及技术服务。</p> | <p>孙岩（行政总监） 13521260906</p> |
| 7 | 南京涵韬信息科技有限公司 | 南京市 | <p>南京涵韬信息科技有限公司主要从事智能供应链整体解决方案服务，包括供应链咨询，信息系统开发与实施，硬件集成等服务，主营产品包括业务流程咨询与优化管理(BPM)、智慧仓储流程设计等。公司在供应链架构设计，仓储咨询和设计，供应链系统研发，设计与实施，物流自动化系统的集成与实施等方案形成完整的智能供应链解决方案。</p> | <p>叶媛媛（产品助理） 15850705460</p> |

| | | | | |
|----|----------------|-----|---|---------------------------|
| 8 | 南京鼎华智能系统有限公司 | 南京市 | 南京鼎华智能系统有限公司以智能制造运营管理（MOM，Manufacturing Operations Management）为蓝图，研发制造执行管理系统（MES）、先进排程系统（APS）、品质管理系统（QMS）、智能战情室及智能中台（IIoT）等产品，并搭以工业互联网应用及IT+OT整合软硬虚实方案，协助制造业的数字化、网络化、智能化转型。 | 薛雅（业务助理） 15856932060 |
| 9 | 无锡优服普联信息科技有限公司 | 无锡市 | 无锡优服普联信息科技有限公司主营产品是优服智能生产制造系统软件V3.0。无锡优服为无锡地区机械制造、汽配、电子科技、项目制造，金属加工、化工、纺织服装、交通运输、医药、食品流通、商贸物流、IT服务等多个行业提供管理软件（ERP、MES、CRM、PLM、OA、BI等产品）、行业管理咨询、实施服务、客户化开发等信息化服务。 | 杨晨（行政部） 13861456355 |
| 10 | 江苏国范智能科技有限公司 | 无锡市 | 江苏国范智能科技有限公司专注于提供智能工厂&智能仓储物流整体解决方案，并负责项目的整体实施及售后保障。公司拥有自己的MES/WMS/WCS/产线智能管 | 姜华宝（市场负责人） 13585060819 |

| | | | | |
|----|--------------------|-----|--|-----------------------------|
| | 有限公司 | | 理系统，涵盖服装纺织、光伏锂电、包装印刷、家居建材、工控电子电气、日化美妆、精密加工、食品冷链等多种业务领域。 | |
| 11 | 江苏海宝智造科技股份有限公司 | 无锡市 | 江苏海纳宝川智能科技有限公司主营产品包括云MES、云APS、MOM融合平台、AIOT工业互联网平台等。海宝智造基于HyberOS平台，提供海量应用模板和个性化定制服务，实现工厂从投料、生产、质量到包装发货的协同和全流程管控。 | 叶婷（项目申报专员） 17805173479 |
| 12 | 无锡中鼎集成技术有限公司 | 无锡市 | 无锡中鼎集成技术有限公司专注于智能仓储物流设备的设计研发、生产制造、安装调试和技术服务，提供从前期咨询、方案设计、数据仿真、设备制造，直至运输、安装调试、售后服务于一体的定制化解决方案。 | 白文彬（科技管理工程师） 15852817096 |
| 13 | 江苏省电子信息产品质量监督检验研究院 | 无锡市 | 江苏省电子信息产品质量监督检验研究院（江苏省信息安全测评中心）是从事电子信息产品质量检验、产品认证、信息安全、软件测评、计量校准和技术培训的第三方检验、检测机构，检测产品覆盖各类信息技术设备、音视频设备、电信终端设 | 张腾标（主任） 18961815926 |

| | | | | |
|----|---|-------------|---|----------------------------------|
| | 督检 验研 究院 (江 苏省 信息 安全 测评 中 心) | | 备、电子元器件、网络安全、软件产品、 轨道交通、汽车整车及汽车零部件、锂电 池、医疗设备、电器产品等，检测类别覆 盖安全、节能能效、电磁兼容、无线电型 号核准 (SRRC)、整机性能、环境可靠 性、化学、计量校准、网络安全、软件测 评等领域，作为独立第三方科研型检测机 构，可为客户提供全面的一站式检验检测 认证服务。 | |
| 14 | 江苏 凯谦 信息 科技 有限 公司 | 徐 州 市 | 江苏凯谦信息科技有限公司是一家提供 科技发展咨询、智改数转服务、工业软件 开发、知识产权托管、政策项目申报等一 站式服务的科创运营机构。公司为企业提 供科技咨询、战略发展规划、智改数转诊 断、各类软件制造、课题项目申报、专利 申报等精准、定向服务。 | 邹凯飞 (总经 理) 18252186313 |
| 15 | 江苏 广识 电气 股份 有限 | 徐 州 市 | 江苏广识电气股份有限公司主营产品包 括 MES 系统、智能供配电系统、城市轨 道交通杂散电流监测及防护系等。公司是 智能供配电领域系统解决方案提供商。主 要从事电力智能化系统、智能高低压成套 | 李宁 (主任) 15995391712 |

| | | | | |
|----|----------------|-----|---|--------------------------|
| | 公司 | | 电器、电能质量治理设备的研发、生产、销售、服务与电力工程总承包业务。 | |
| 16 | 江苏萨普莱斯信息科技有限公司 | 徐州市 | 江苏萨普莱斯信息科技有限公司是一家专注于软件服务、物联网软硬件集成和机器人商用服务解决方案的企业，致力于智慧城市开发及应用的技术企业，主营产品包括企业协同办公软件、CRM、ERP等。 | 李晓龙（技术总监） 18039418002 |
| 17 | 江苏金友智能信创科技有限公司 | 徐州市 | 江苏金友智能信创科技有限公司主营产品包括ERP、MES、OA、HR等，专注于ERP管理软件和IT服务，为客户提供数字化转型的全面解决方案和全面的IT服务。 | 仪忠山（总经理） 18652299901 |
| 18 | 常州华数锦明智能装备技术 | 常州市 | 华数锦明在新能源汽车动力/储能电池设备、工业机器人、全自动包装设备、大物流系统和智能软件等领域具备研发和设计制造能力，主营产品包括新能源汽车动力电池设备、测试物流线、智能包装物流系统等。华数锦明专注于机器人本体和系 | 冯文婷（项目申报） 15380017675 |

| | | | | |
|----|----------------|-----|--|---------------------------------|
| | 研究院有限公司 | | 统集成应用的研发，自主研制了六轴串联关节机器人系列、3/4轴并联机器人系列、视觉系统、MES控制管理系统等。 | |
| 19 | 江苏富深协通科技股份有限公司 | 常州市 | 江苏富深协通科技股份有限公司致力于科技创新、数字化产品研发以及专业化服务的能力建设，业务涉及咨询规划、系统设计、软件开发、系统集成及安全服务等数字化建设领域的高科技公司，主营产品包括信息安全咨询服务（风险评估、多体系咨询）、数据安全咨询服务等。 | 陶毅国（总工程师） 18602588058 |
| 20 | 江苏汤姆森智能装备有限公司 | 常州市 | 江苏汤姆森智能装备有限公司是一家研发、设计、生产智能灌装装备的全案服务商，主营产品是智能包装成套设备，专注于研发、设计、生产智能包装装备，为客户提供智能灌装装备、整体方案及EPC总包工程和智慧工厂生产数据采集执行系统（MES）。 | 钱成龙（总经理助理/采购部部长） 18915008967 |

| | | | | |
|----|--|-------------|--|---------------------------------|
| 21 | 部盾 信息 科技 有限 公司 | 常 州 市 | 部盾信息科技有限公司致力于大数据在管理及业务决策中的应用，使用机构和企业数据，对实体运行进行数字化还原、模拟和预测，运用集成化的决策分析和建模技术，为政策和业务决策人员提供指向明确的诊断和决策依据、实施路径和执行抓手，主营产品是 DSS 生命周期动态模拟平台。 | 李金阳（首席运营执行官） 15201108725 |
| 22 | 瑞熙 （苏 州） 智能 科技 有限 公司 | 苏 州 市 | 瑞熙智能科技有限公司在数字能源和数字工业领域为客户提供定制化服务，主营产品是 MES 系统/AGV 调度系统。瑞熙智能在数字工业领域，通过信息化、自动化、智能化技术的落地实施经验，为企业提供全栈式智能制造解决方案，助力企业降本增效，提升企业竞争力。 | 潘子文（总经办助理） 13962232699 |
| 23 | 苏州 瀚码 智能 技术 有限 公司 | 苏 州 市 | 苏州瀚码智能技术有限公司为企业提供数字化服务，主营产品包括工业互联网关 Edge（车间数据采集）、工业大数据分析 BI、生产执行 MES、设备管理 TPM、质量管理 QMS、WMS\LES 仓储物流等。 | 庞静雯（政府事务专员） 15250099224 |
| 24 | 苏州 | 苏 | 苏州杰锐思智能科技股份有限公司主要 | 刘子晗（市场 |

| | | | | |
|----|---------------------------------------|-------------|--|---------------------------------|
| | 杰锐 思智 能科 技股 份有 限公 司 | 州 市 | 从事智能装备的研发、生产及销售，业务涵盖新能源锂电池智能装备、半导体智能装备、光伏智能装备、3C 智能装备、汽车电子智能装备等领域，为客户提供智能生产与智能检测解决方案。 | 经理) 13914090026 |
| 25 | 苏州 凌犀 物联 网技 术有 限公 司 | 苏 州 市 | 苏州凌犀物联网技术有限公司主营产品包括智造运营管理系统(安灯、透明工厂、PTL 等)、工业 APP 等，以边缘计算平台(ECS+CluingOS)为核心的“边云网用”一体的透明工厂系统，打通了基于KubeEdge+KubeSphere 的容器化应用商店的专业 5G+工业互联网技术供应商。 | 邱美英(综合 办) 18962591045 |
| 26 | 南通 易通 网络 科技 有限 公司 | 南 通 市 | 南通易通网络科技有限公司是信息安全整体解决方案供应商与服务商，是集整体安全解决方案提供、规划、咨询、项目实施、安全服务为一体的信息安全整体解决方案商，可以提供咨询、规划、实施、培训、维护等全程网络安全服务。 | 朱荣兵(总经 理) 15996553333 |

| | | | | |
|----|---|-------------|---|----------------------------------|
| 27 | 江苏 易飞 迅物 流科 技有 限公 司 | 南 通 市 | 易飞迅是智能仓储高定解决方案服务商，致力为有高密仓储、高效物流与高度定制化需求的企业，定制更贴合其业务发展需要的智能仓储与物流系统解决方案，帮助客户在激烈的市场竞争中增效降本，赢跑未来，主营产品包括堆垛机，输送线，提升机，WMS 等。 | 黄智健（市场 主管） 19942018071 |
| 28 | 中兴 耀维 科技 江苏 有限 公司 | 盐 城 市 | 中兴耀维科技江苏有限公司以 AGV、无人叉车、WCS、MES 等为工业生产、物流、仓储、智能化改造提供端到端智能解决方案。在服务领域的智能服务机器人、消毒机器人等，以及在工业领域 AGV、无人叉车和相关软件产品及解决方案已经进入三大运营商。 | 张丽（总经理） 18012502319 |
| 29 | 依柯 力信 息科 技 (上 海) 股份 有限 | 盐 城 市 | 2013 年，依柯力信息科技（上海）股份有限公司主营产品包括制造运营管理 MES-整车系统、制造运营管理 MES-通用离散系等。依柯力聚焦新能源汽车产业，开发了以 IIoT 技术为核心的数字化智慧工厂整体解决方案和 Inkelink 工业互联网平台，覆盖注塑、冲压、焊装、压铸、机加、涂装、总装、电芯、电池模组、电池 PACK | 周静（销售经 理） 18066198880 |

| | | | | |
|----|--------------|-----|---|---------------------------|
| | 公司 | | 等全流程工艺。 | |
| 30 | 扬州明辰信息科技有限公司 | 扬州市 | 扬州明辰信息科技有限公司主营产品包括 ERP 系统、MES 系统、5G+工业互联网平台和信创生态服务等。 | 陈礼兵（市场部经理） 13358126661 |
| 31 | 镇江苏仪德科技有限公司 | 镇江市 | 镇江苏仪德科技有限公司以传统制造业信息化改造为核心，致力于机器视觉解决方案。目前业务范围主要以机器视觉检测产品研发及产业化、软件开发及产业化为主，专注于光伏行业的自动化检测设备的技术和产品开发。 | 张千（CTO） 15262901560 |
| 32 | 苏州迈为科技股份有限公司 | 苏州市 | 高端装备制造制造商，面向太阳能光伏、显示、半导体三大行业，立足真空、激光、精密装备三大关键技术平台，研发、制造、销售智能化高端装备，主要产品包括全自动太阳能电池丝网印刷生产线、异质结高效电池制造整体解决方案、OLED 柔性屏激光设备、MLED 全线自动化设备解决方案、半导体晶圆封装设备等。 | 梅经理（华东区域） 15365332856 |

| | | | | |
|----|--|-------------|--|-----------------------------|
| 33 | 无锡 先导 智能 装备 股份 有限 公司 | 无 锡 市 | 全球具备 100%完整自主知识产权的锂电池整线解决方案服务商，核心设备市占率超过 60%，致力于为客户提供从电芯制造、电池组装、电池测试到模组 PACK 和智能物流系统等锂电池整线设备，并配备先导自主研发的 MES 智能制造系统，为客户打造智能化工厂。 | 锂电池事业部 0510-81163620 |
|----|--|-------------|--|-----------------------------|

表 13 - 服务商目录